

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

_____ О.В.Шевченко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему _____ Спеціальний верстат з числовим програмним керуванням
вертикального компонування _____

Виконав : студент

II курсу , групи МВ – 81мп

_____ Лисов Єгор Дмитрович

_____ (прізвище ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник _____ к.т.н., доц. Самойленко О. В.

_____ (посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент:

_____ (посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ - 2019

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання верстатів та машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною
програмою

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 131 ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ
ВЕРСТАТІВ, РОБОТІВ І МАШИН»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

О.В.Шевченко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Лисов Є.Д.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Спеціальний верстат з числовим програмним керуванням вертикального компонування.

науковий керівник дисертації Доцент Самойленко Олексій
Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “31” жовтня 2019 року № 3800-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Спеціальний верстат портального типу з ЧПК з вертикальним розміщенням шпинделя

4. Вихідні дані Матеріал заготовки - текстоліт, фольгований з одного та двох сторін, товщина до 10 мм, розміри до 300 x 200 мм. Вид обробки - свердління отворів, контурна обробка.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити патентно-інформаційні дослідження стосовно верстату; аналіз стандартів, необхідних для розробки і експлуатації верстату; аналіз процесу обробки деталей типу друкованих плат і місця в ньому свердлильно-фрезерних операцій; вибір різального інструменту; аналіз елементної бази для створення верстату; розробка та оптимізація механічної частини верстату; розробка електричної частини верстату; перевірка вузлів та деталей верстату на надійність та функціональність.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Складальне креслення верстата, загальний вигляд верстата, кінематична схема верстата, електрична схема верстата, деталювання, плакат ілюстрований англо-український словник, плакат розрахунок переміщень, схема свердління, плакат результати патентно-інформаційних досліджень.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Строк виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|---|----------|
| 1 | Ознайомлення із завданням | 1-й тижд. | |
| 2 | Визначення класифікаційних індексів | 2-й тижд. | |
| 3 | Оптимізація патентно-інформаційного пошуку | 3-й тижд. | |
| 4 | Визначення і дослідження стандартів | 4-й тижд. | |
| 5 | Патентно-інформаційний пошук та оформлення його результатів | 5-й тижд. | |
| 6 | Розробка компонування | 6-й тижд. | |
| 7 | Розробка кінематичної та електричної схем | 7-й тижд. | |
| 8 | Ознайомлення із наявною елементною базою | 8-й тижд. | |
| 9 | Підбір комплектуючих | 9-й тижд. | |
| 10 | Конструювання верстату | 10-й тижд. | |
| 11 | Перевірочні розрахунки вузлів верстату | 11-й тижд. | |
| 12 | Оформлення готової дисертації | 12-й тижд. | |

Студент _____ Лисов Є.Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації _____ Самойленко О.В.

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури. Основний текст складається із 73 сторінок, включає в себе 47 рисунків.

Об'єктом дослідження є спеціальний верстат порталного типу з ЧПК з вертикальним розміщенням шпинделя. Предметом дослідження є патентна ситуація щодо верстату, оптимальна конструкція верстату, будова електричної схеми верстату та параметри надійності та функціональності механічної складової верстату.

У магістерській дисертації розроблена модель малогабаритного свердлильно-фрезерно-гравірувального верстату з числовим програмним керуванням, призначеного для свердління монтажних отворів, контурної обробки друкованих плат та інших подібних виробів. Верстат орієнтований на використання в індивідуальному виробництві, малому бізнесі, тощо.

Ціллю розробки є заміна ручного процесу на автоматичний, підвищення точності виробництва.

Виконано розрахунок продуктивності верстату та розрахунки, що підтверджують працездатність вузлів. Виконана оптимізація компоновки вузлів і загального вигляду.

Приведені результати інформаційного пошуку по темі проекту. Розроблена схема технологічного процесу, кінематична та електрична схеми.

Ключові слова: верстат, ЧПК, свердління, фрезерування, порталний верстат, гравірувальний верстат.

ANNOTATION

The master's thesis consists of an introduction, four sections, conclusions, a list of used literature. The main text consists of 73 pages, including 47 pictures.

The object of study is a special portal-type CNC machine with vertical spindle placement. The subject of the study is the patent situation of the machine, the optimal design of the machine, the structure of the electrical circuit of the machine and the parameters of reliability and functionality of the mechanical component of the machine.

In the master's thesis the model of the small-size boring-milling-engraving machine with numerical control is designed for drilling of mounting holes, contour processing of printed circuit boards and other similar products. The machine is focused on the use in individual production, small business, etc.

The purpose of the development is to replace the manual process with an automatic one, improving the accuracy of production.

The performance of the machine and calculations confirming the efficiency of the units were performed. Node layout and general layout optimization is performed.

The results of the information search on the topic of the project are given. The scheme of technological process, kinematic and electrical circuits is developed.

Keywords: machine tool, CNC, drilling, milling, portal machine, engraving machine.

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованной литературы, приложений. Основной текст состоит из 73 страниц, включает в себя 47 рисунков.

Объектом исследования является специальный станок портального типа с ЧПУ с вертикальным расположением шпинделя. Предметом исследования является патентная ситуация по станку, оптимальная конструкция станка, строение электрической схемы станка и параметры надежности и функциональности механической составляющей станка.

В магистерской диссертации разработана модель малогабаритного сверлильно-фрезерно-гравировального станка с числовым программным управлением, предназначенного для сверления монтажных отверстий, контурной обработки печатных плат и других подобных изделий. Станок ориентирован на использование в индивидуальном производстве, малом бизнесе и тому подобное.

Целью разработки является замена ручного процесса на автоматический, повышение точности производства.

Выполнен расчет производительности станка и расчеты, подтверждающие работоспособность узлов. Выполнена оптимизация компоновки узлов и общего вида.

Приведены результаты информационного поиска по теме проекта. Разработана схема технологического процесса, кинематическая и электрическая схемы.

Ключевые слова: станок, ЧПУ, сверление, фрезерование, портальный станок, гравировальный станок.

Зміст

| | |
|--|-----------|
| ВСТУП | 8 |
| 1. ПАТЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ | 9 |
| 1.1. РЕЗУЛЬТАТИ ПОШУКУ АНАЛОГІВ РОЗРОБЛЮВАНОГО ВЕРСТАТУ..... | 9 |
| 1.2. ІЛЮСТРОВАНІЙ СЛОВНИК ДЛЯ ЦІЛЕЙ ПАТЕНТНОГО ПОШУКУ | 13 |
| 1.3. ВИБІР РУБРИКИ МІЖНАРОДНОЇ ПАТЕНТНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ..... | 17 |
| 1.4. ВИБІР РУБРИКИ УНІВЕРСАЛЬНОЇ ДЕСЯТКОВОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ | 17 |
| 1.5. ДЕРЖАВНІ ТА МІЖНАРОДНІ СТАНДАРТИ З НАПРЯМКУ | 18 |
| 2. КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТУ | 19 |
| 2.1. СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА БУДОВА..... | 19 |
| 2.2. КІНЕМАТИЧНА СХЕМА..... | 21 |
| 2.3. ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСНАЩЕННЯ | 23 |
| 2.4. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ОБРОБКИ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ | 24 |
| 2.5. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТУ | 49 |
| 3. ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВЕРСТАТУ | 54 |
| 4. ПІДТВЕРДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВЕРСТАТУ | 58 |
| 4.1. КУЛЬКОВА ГВИНТОВА ПЕРЕДАЧА | 58 |
| 4.2. ЖОРСТКІСНІ ТА МІЦНІСНІ РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ | 64 |
| 4.3. РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СВЕРДЛИЛЬНОЇ ГОЛОВКИ | 68 |
| ВИСНОВКИ..... | 70 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 71 |
| ДОДАТКИ | 73 |

ВСТУП

У реаліях сьогодення, техніка є невід'ємною частиною життя. Програмне керування стає все більш поширеним, завдяки чому привертає до себе увагу все більшої кількості аматорів. Крім програмної частини радіоаматори можуть власноруч виготовляти виконавчі органи керування – друковані плати. Свердління отворів – найважчий і найбільш трудомісткий процес механічної обробки плати, саме тому автоматизація цього процесу значно полегшує їх виготовлення та підвищує якість.

Метою даної магістерської дисертації є розробка малогабаритного свердлильно-фрезерно-гравірувального верстату з числовим програмним керуванням, призначеного для свердління монтажних отворів, контурної обробки друкованих плат та інших подібних виробів. Верстат орієнтований на використання в індивідуальному виробництві, малому бізнесі, тощо.

Верстат розроблений з ціллю заміни ручного процесу на автоматичний, підвищення точності виробництва. Приведені результати інформаційного пошуку по темі проекту. Розроблена схема технологічного процесу, кінематична та електрична схеми. Виконано розрахунок продуктивності верстату та розрахунки, що підтверджують працездатність вузлів. Виконана оптимізація компоновки вузлів і загального вигляду. Спроектowana тривимірна модель верстату.

1. ПАТЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Результати пошуку аналогів розроблюваного верстату.

Ювелірний чотирьохкоординатний верстат



Рисунок 1.1. Ювелірний чотирьохкоординатний верстат

Ювелірний чотирьохкоординатний верстат призначений для застосування в модельному виробництві, а також у виробництві воскових майстер-моделей. Крім ювелірного виробництва верстат може з успіхом застосовуватися в рекламному, сувенірному виробництві, де необхідна 3D і 4D обробка різних матеріалів таких як пластики, модельний віск, матеріали для моделювання, м'які метали.

Гравірувально-фрезерний верстат з ЧПУ для каменю



Рисунок 1.2. Гравірувальний верстат з ЧПК для каменю

Фрезер MSF 6012 Stone призначений для швидкісної обробки мінеральних порід, мармуру, граніту, базальту і т.п. Верстат для обробки каменю має литий стіл, який дозволяє не турбуватися про міцність обладнання під час завантаження-вивантаження матеріалу, а також під час швидкісного фрезерування виробів з каменю. Станок оснащений потужними рейковими напрямними, шпинделем 5,5 кВт з водяним охолодженням, розробленим спеціально для обробки каменю. Верстат має захисну гофру по усім осям (не дає потрапляти часткам оброблюваного матеріалу на напрямні), системою автоматичного змащування, рейковою передачею по вісям X та Y, шарико-гвинтова пара по осі Z.

Настільний 5-осьовий верстат



Рисунок 1.3. Настільний 5-осьовий верстат

Настільний 5-осьовий фрезерно-гравірувальний верстат ChinaCNCzone HY-3040. Інтегрований швидкісний мікрокомп'ютер. Підходить для заліза, міді, дерева, пластику, ПВХ, фанери тощо. Водохолоджуваний шпиндель потужністю 2200 Вт. 8-швидкісний моторний привід.

Прототипом розроблюваного верстата будемо використовувати гравірувально-фрезерний верстат HIGH-Z S-400 (рис. 1.7)

Гравірувально-фрезерні верстати з ЧПК HIGH-Z серії T можуть застосовуватися в будь-якій області промисловості, використовуються для гравіювання і фрезерування на металах, пластику, склі, дзеркалі, камені, текстоліті та інших матеріалах. Можуть використовуватися для операцій різання, свердління,

дозування. Висока точність верстатів з ЧПУ HIGH-Z серії T дозволяють виробляти високотехнологічні вироби, в тому числі верстати HIGH-Z можна використовувати для виробництва друкованих плат.

Комплектація верстата:

- контроллер на 5 каналів;
- шпиндель KRESS на 1050 ватт з цангою на 8 мм;
- цанги для шпинделя KRESS, 3мм, 1/8", 6мм;
- стіл с Т-образними пазами, 320x730мм товщина 16 мм;
- гайки для Т-образного паза М6, в упаковці 20 шт.
- програмне забезпечення WIN PCNC Economy;
- Компонент охолодження;
- Насос для пилу;
- Tool 100 перевірка довжини фрези

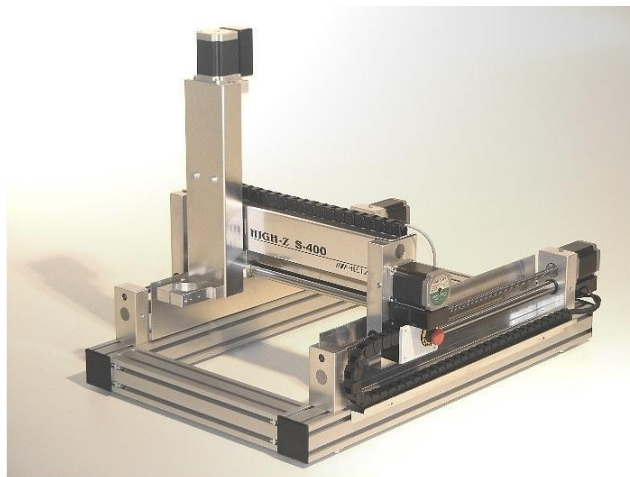


Рисунок 1.4. Верстат HIGH-Z S-400

1.2. Ілюстрований словник для цілей патентного пошуку



Рисунок 2.3

milling machine – фрезерний верстат



Рисунок 2.4

drilling machine – свердильний верстат



Рисунок 2.5

спс - чпк



Рисунок 2.6
carriage - каретка

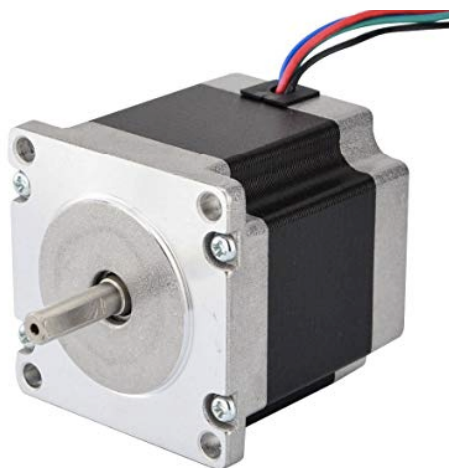


Рисунок 2.7
stepper motor – кроковий двигун

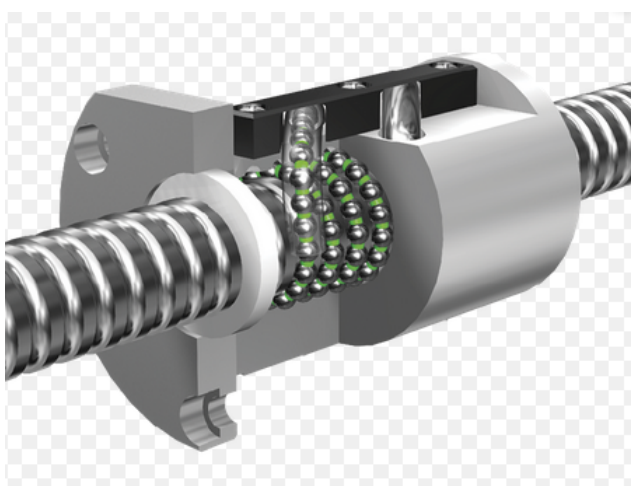


Рисунок 2.8
Ball screw - КГП



Рисунок 2.9

gantry machine – портальный верстат

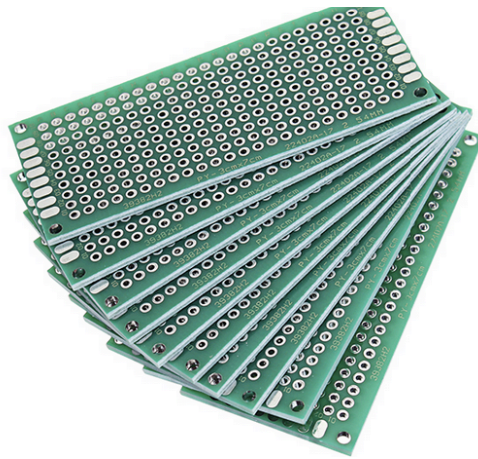


Рисунок 2.10

printed circuit board – друкована плата



Рисунок 2.11

collet – цанговый патрон



Рисунок 2.12
coupling – муфта

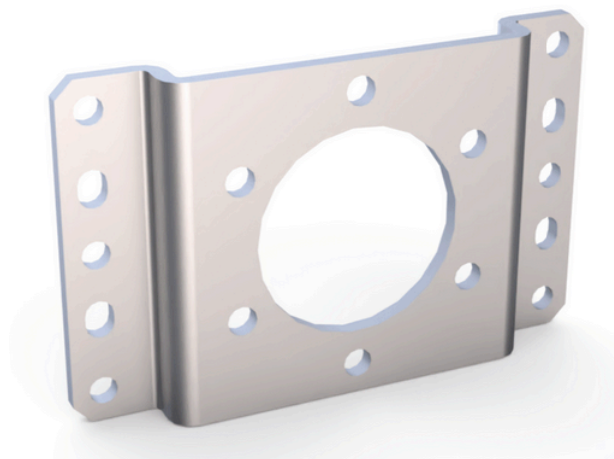


Рисунок 2.13
bracket - кронштейн

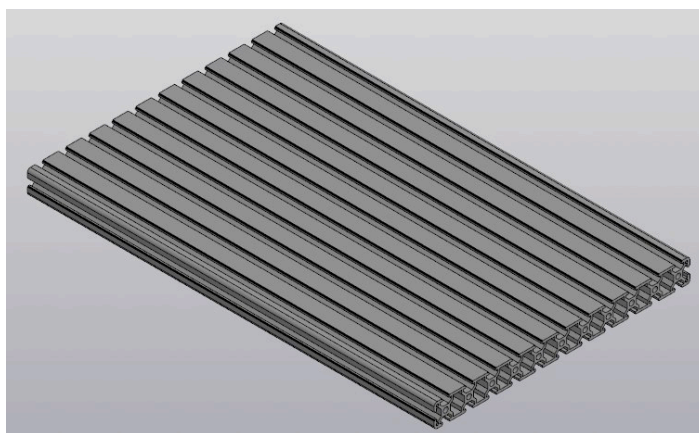


Рисунок 2.14
profile plate – профільна плита

1.3. Вибір рубрики Міжнародної патентної класифікації

За основу для верстата, розроблюваного в даній роботі, взято порталний фрезерно-гравірувальний верстат. Отже в базі Міжнародної патентної класифікації вибираємо розділ В(ВИКОНУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ; ТРАНСПОРТУВАННЯ), клас 23(МЕТАЛОРИЗАЛЬНІ ВЕРСТАТИ; ОБРОБЛАННЯ МЕТАЛІВ, НЕ ОХОПЛЕНЕ ІНШИМИ КЛАСАМИ), підклас С(ФРЕЗЕРУВАННЯ), групу 1/06 (З одним вертикальним робочим шпинделем). Отже повний індекс МПК має такий вигляд: B23C 1/06(Фрезерувальні верстати з одним вертикальним робочим шпинделем).

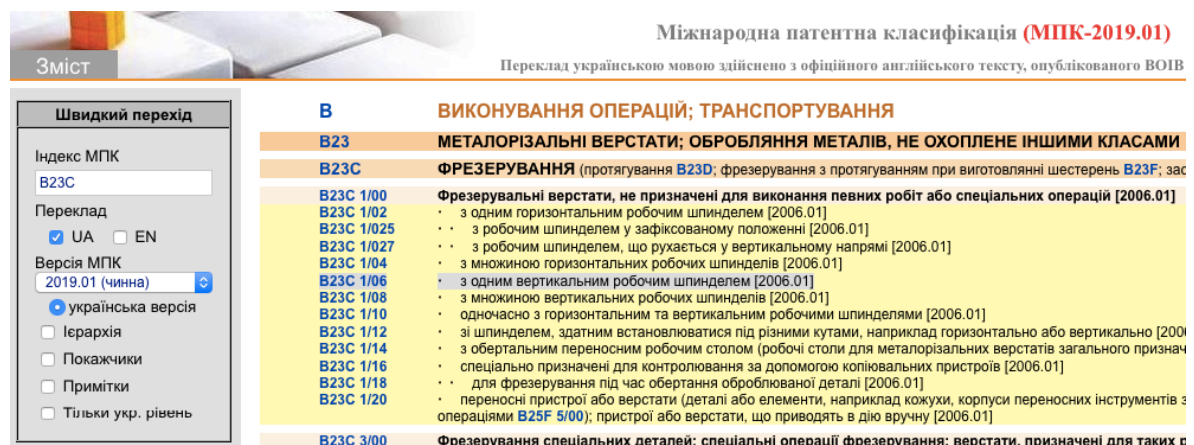


Рисунок 2.1

1.4. Вибір рубрики Універсальної десятикової класифікації

Так як і у випадку Міжнародної патентної класифікації, за основу для верстата, розроблюваного в даній роботі, взято порталний фрезерно-гравірувальний верстат.

Отже вибираємо такі рубрики Універсальної десятикової класифікації:

-Комбіновані фрезерно-свердлильні та фрезерно-розточні верстати, код

УДК 621.914.4

-Фрезерні верстати, вертикальні, код УДК 621.914.32

Фрезерные станки

[вверх](#) [домой](#)

| код УДК | описание | примечания |
|------------|--|--|
| 621.914.31 | горизонтальные | |
| 621.914.32 | вертикальные | |
| 621.914.4 | Комбинированные фрезерно-сверлильные и фрезерно-расточные станки | см. 621.941.277 Расточные станки (горизонтальные) см. 621.941.28 Вертикальные токарные станки. Токарно-карусельные станки |

1.5. Державні та міжнародні стандарти з напрямку

Серед державних стандартів України беремо до уваги ДСТУ ISO 8636-1:2019. Верстати. Умови випробування для фрезерних верстатів мостового типу. Випробування точності. Частина 1. Верстати з нерухомим містком (портальні). Серед міжнародних стандартів йому відповідає ISO 8636-1:2000, IDT

2. КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТУ

2.1. Структурно-функціональна будова

В ході роботи була розроблена структурно-функціональна схема верстата (рис. 2.1.1)

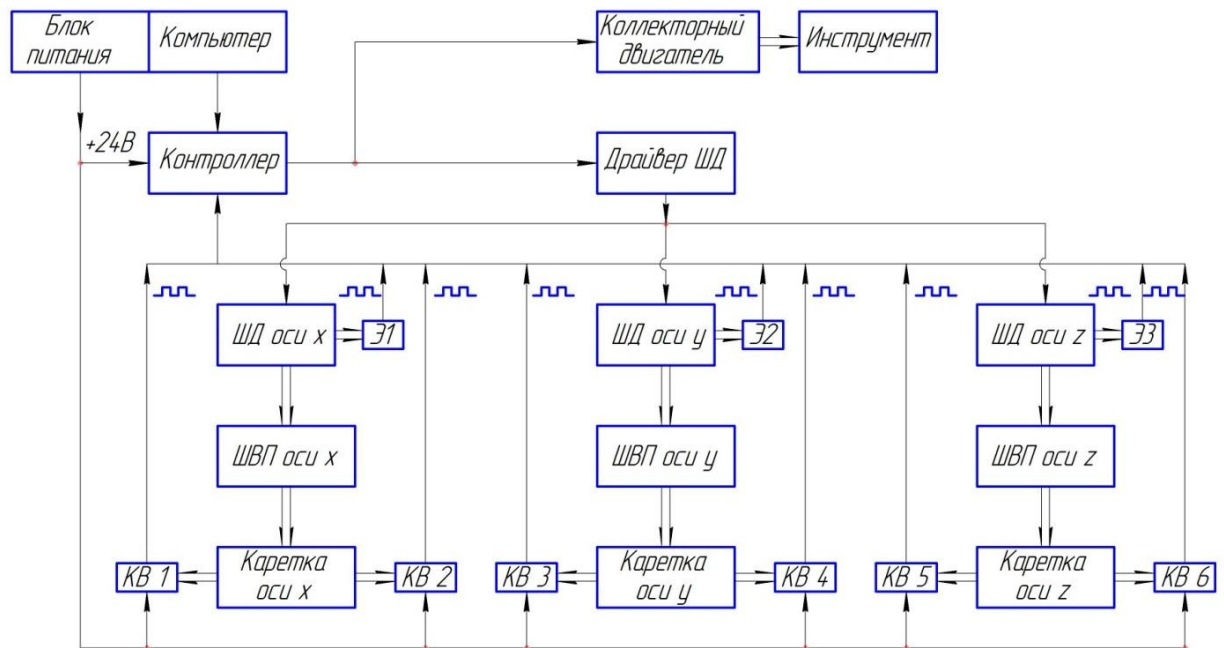


Рисунок 2.1.1. Структурно-функціональна схема верстату.

Верстат являє собою виконавчу частину і пристрій управління.

До складу верстата входить силовий блок, представлений блоком живлення, логічний блок, що складається з контролера і драйвера крокових двигунів, виконавча частина представлена трьома кроковими і одним колекторним двигунами, механізмами передачі руху – ШВП і датчиками, що забезпечують зворотний зв'язок. Електричні кола +24 В служать для живлення контролера. Від контролера надходить сигнал на драйвер ШД, який в свою чергу, видає імпульсні сигнали на крокові двигуни, які механічно

пов'язані з шарико-гвинтовими передачами. На ШВП знаходяться каретки, що впливають на кінцеві вимикачі, які сигналізують про крайніх положеннях каретки контролеру. Точність виконання ШД імпульсних сигналів драйвера відстежується енкодерами, так само пов'язаними з контролером. Своєчасне включення колекторного двигуна, який механічно пов'язаний з інструментом, так само здійснюється контролером.

Зі схеми видно, що в верстаті використовується електричні і механічні зв'язки. Електромеханічні приводи забезпечені імпульсними датчиками зворотного зв'язку і забезпечує позиційне керування.

2.2. Кінематична схема

В ході роботи була розроблена кінематична схема верстата для свердління друкованих плат (рис. 2.2)

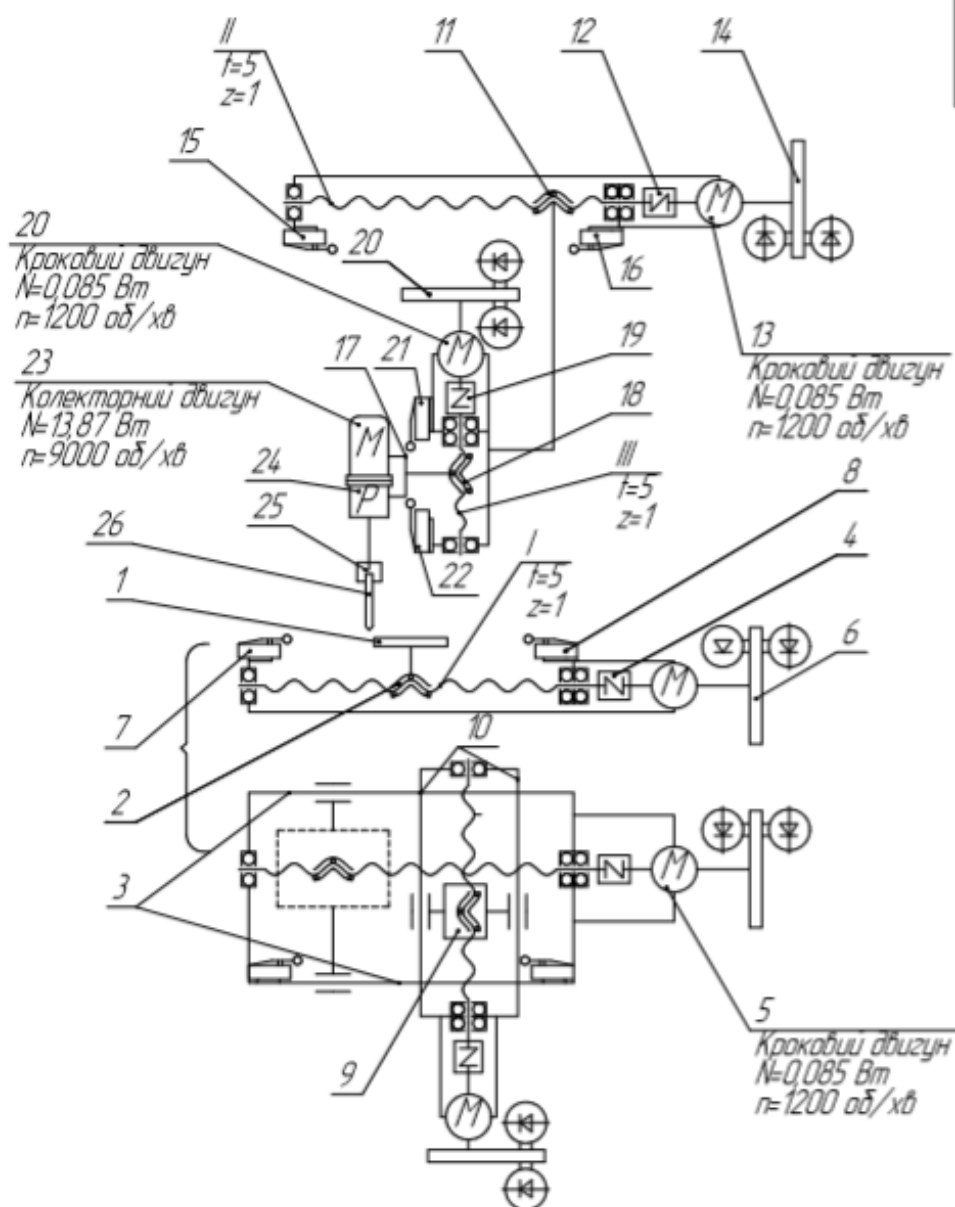


Рисунок 2.2. Кінематична схема верстата для свердління друкованих плат.

Плата встановлюється на стіл 1, який за допомогою гайки 2, переміщується за допомогою гвинта уздовж напрямних 3. Гвинт І з'єднаний через муфту 4 з кроковим двигуном (КД) 5. На другому вихідному валу КД 5 встановлений енкодер 6. Крайні положення каретки визначаються за допомогою кінцевих вимикачів 7,8.

Поперечний і вертикальний рух кареток 9 і 17 здійснюється аналогічно.

Інструмент - свердло 26, закріплено за допомогою цангового патрона 25 на вихідному валу редуктора 24, який з'єднаний з колекторним електродвигуном 23, встановлено каретці 17

2.3. Електричне оснащення

Електрична схема верстата представлена на малюнку 2.3.1.

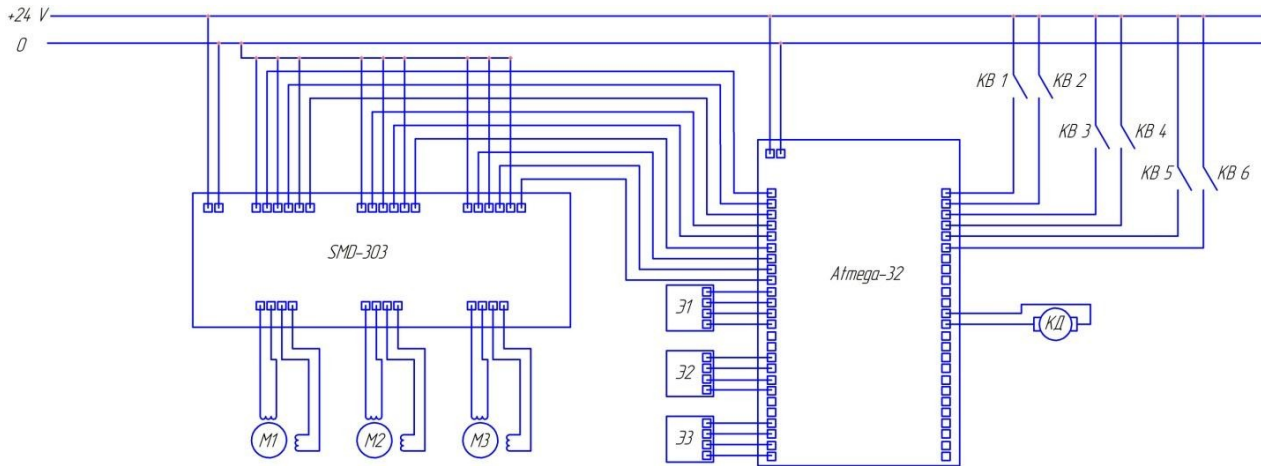


Рисунок 2.3.1. Електрична схема пристрою управління.

Роз'єм контролера верстата підключається до ПК, в якому знаходиться креслення плати.

Контролер для управління станком - Atmega32. У неї закладено основний алгоритм управління. Від нього сигнал надходить до трьохосьового драйверу КД, який посилає імпульсні сигнали на КД і здійснює їх синхронну роботу. Точність виконання КД імпульсних сигналів драйвера відстежується енкодер, так само пов'язаними з контролером. Кінцеві вимикачі (KB1-6) відстежують крайні положення кареток по трьох осях.

Своєчасне включення колекторного двигуна, так само здійснюється контролером. Колекторний двигун підключений до контролера через пристрій регулювання обертів, що являє собою реостат.

2.4. Технологічний процес обробки друкованої плати

2.4.1. Типовий процес обробки друкованої плати

Позитивний комбінований спосіб є головним при виготовленні друкованих плат. Позитивний комбінований метод в порівнянні з негативним вважається кращим тим, що при ньому має місце хороша адгезія провідника, збільшена надійність монтажних і перехідних отворів, гарні електроізоляційні властивості. Останнє зумовлюється тим, що при довгій обробці в хімічно агресивних розчинах (розчини хімічного міднення, електроліти та ін.) Діелектричне підставу захищене фольгою.

Технологічний процес виготовлення плати комбінованим позитивним методом складається з таких операцій:

- різання заготовок;
- пробивка базових отворів;
- підготовка поверхонь заготовок;
- нанесення фоторезиста;
- нанесення захисного лаку;
- свердління отворів;
- хімічне міднення;
- зняття захисного лаку;
- гальванічне затягування;

-електролітичне міднення;

-зняття фоторезиста;

-травлення плати;

-освітлення плати;

-оплавлення плати;

-механічна обробка плати;

Далі розглянемо операції більш детально.

Різання заготовок.

Фольговані діелектрики роблять таких стандартних розмірів : 1000-1200 мм, тому першою операцією практично будь-якого технологічного процесу є процедура різання заготовок. Для цього використовують роликові і гільйотинні прецизійні ножиці. На одноножових роликових ножицях можна робити заготовки розмірами від 50х50 мм до 500х900 мм при товщині 0,025-3 мм. Швидкість різання може регулюватися в межах 2-13,5 м/хв. Точність різання 1,0 мм. Для усунення пилу, що утворюється при різанні заготовки, на ножиці встановлено пиłosос.

З листів фольгованого діелектрика роликовими ножицями робимо заготовки потрібних розмірів з припуском на тех. поле по 10 мм з кожного боку. Далі з торців заготовки знімаємо напилником задирки щоб уникнути пошкодження рук під час технологічного процесу. Якість зняття задирок визначається візуально.

Різка заготовок не повинна призводити до розшаровування, утворення тріщин, сколів, а також подряпин на поверхні заготовок.

Пробивання базових отворів.

Базові отвори необхідні для позиціювання плати під час обробки.

Свердління отворів є типом механічної обробки. Це одна з найбільш трудоемних і важливих операцій. При свердлінні найважливішими характеристиками операції є: конструкція обладнання, геометрія свердла, швидкість різання і швидкість осьової подачі. Для потрібної фіксації свердла використовуються спеціальні високоточні кондуктори. Крім того, потрібно забезпечити негайне видалення стружки із зони свердління. Як відомо, стеклотекстоліт є високоабразивним матеріалом, тому рекомендовано застосовувати твердосплавні свердла. Застосування свердел з твердого сплаву дозволяє значно підвищити продуктивність роботи під час свердління і збільшити чистоту обробки отворів. У більшості випадків заготовки свердлять в пакеті, висота пакета до 6 мм.

Підготовка поверхні заготовок.

Від стану поверхні багато в чому залежить адгезія нанесених згодом покриттів. Якість підготовки поверхні має велике значення як при нанесенні фоторезиста, так і при осадженні металу.

Широко використовують механічні і хімічні способи підготовки поверхонь або їх поєднання. Консервуючі покриття легко знімаються органічним розчинником, з подальшим промиванням у воді і сушінням. Окисні плівки, пилові і органічні забруднення видаляються послідовним промиванням в органічних розчинниках (ксилолі, бензолі) і водних розчинах фосфатів, соди, їдкого натру.

Видалення оксидного шару завтовшки від 0,5 мкм проводять механічним очищенням крацевальними щітками або абразивними валками. Недоліком

цього способу є швидке зажирювання валків, а потім, і очищуваної поверхні. Також для видалення оксидної плівки можна застосувати гідроабразивну обробку. Високу якість обробки отримують при обробці розпорошеною абразивною пульпою. Гідроабразивна обробка видаляє з фольги задирки, що утворюються під час свердління, та звільняє внутрішні мідні торці контактних майданчиків від епоксидної смоли.

Високу якість очищення отримують при поєднанні гідроабразивного обробки з використанням водної суспензії і крацевання. За цим принципом працюють установки для очистки бічних поверхонь заготовок і отворів друкованих плат нейлоновими щітками і пемзової суспензією.

Для двосторонньої механічної зачистки поверхні плати часто застосовують спеціальну крацевальну установку. Обробка поверхні виконується за допомогою латунних щіток в струмені технологічного розчину. Максимальний розмір оброблюваних заготовок 500x500 мм при їх товщині 0,1-3,0 мм, а частота обертання щіток 1200 об / хв, при зусиллі притиску плат до щіток 147 Н.

Хімічне видалення оксидної плівки зазвичай здійснюється в десятивідсотковому розчині соляної кислоти.

До якості очищення фольгової поверхні пред'являють високі вимоги, бо від цього сильно залежать адгезія фоторезисту і якість малюнка схеми.

В даному технологічному процесі підготовка поверхні заготовок проводиться методом декапірування розчині п'ятивідсоткової соляної кислоти і знежиренням вапном. Для цього заготовки утримують протягом 15 секунд в п'ятивідсотковому розчині соляної кислоти при температурі 18-25 С, та промивають протягом 2-3 хвилин у проточній воді за нормальної температури 18-25 С, далі зачистити заготовки вапном

протягом 2-3 хвилин та знову промивають у проточній воді за нормальної температури 18-25 С протягом 2-3 хвилин, потім декапірують заготовки в п'ятивідсотковому розчині соляної кислоти протягом 1-3 секунд при температурі 18-25 С, знову промити заготовки у проточній воді протягом 1-2 хвилин при температурі 20 С, промити заготовки в дистильованій воді при температурі 20 С протягом 1-2 хв, і, нарешті, висушити заготовки стиснутим повітрям при температурі 18-25° С до повного їх висихання. В кінці необхідно провести контроль якості зачистки поверхні. Контроль робочий.

Нанесення фоторезиста.

Від фоторезиста зазвичай вимагають високу роздільну здатність, а цього можна досягти лише з однорідних, без проколів плівок фоторезистів, з хорошим зчепленням з фольгою. Через це маємо такі високі вимоги до попередніх операцій. Маємо мінімізувати кількість вологи на платі, бо це може бути причиною проколів чи поганої адгезії. Всі дії з фоторезистом маємо робити в приміщенні при відносній вологості до 50% включно. Для зневоложування плати застосовують сушіння в термошкафах.

В залежності від опрацьованого фоторезиста маємо декілька методів його нанесення на поверхню плат. Рідкий фоторезист наноситься методом занурення, поливу, розбризкуванням, електростатичним розпиленням з подальшою сушкою в центрифугі до повного висихання. Таким методом отримуємо шар фоторезисту рівномірної товщини. На відміну від рідкого, сухий(плівковий) фоторезист наносять методом ламінування.

У випадку з рідким фоторезистом, задля підвищення його захисних властивостей після експонування і прояви виконують його термічне дублення. Для цього використовують шафи з електрокалорифером. Для підвищення ефективності можна використовувати установки дублення фоторезиста в розплаві солей.

Для експонування малюнка схеми зазвичай використовують установки з рівномірним світловим потоком, невисокою температурою ламп для запобігання перегріву фотошаблону.

Зростаючі вимоги до точності і якості схем, необхідність автоматизації процесів і зростання обсягів випуску плат сприяли заміні рідких фоторезистів сухим плівковим фоторезистом (СПФ). Широке впровадження сухоплівкових фоторезистів призвело до того, що всі провідні підприємства-виробники друкованих плат в даний час мають в своєму розпорядженні усім необхідним технологічним і контрольним устаткуванням для їх застосування.

Проте для одиночного або малосерійного виробництва рідкий фоторезист досі залишається актуальним варіантом.

Нанесення захисного лаку.

Лак на плати наносять задля того, щоб захистити поверхню під час операції хімічного міднення. Обробка зазвичай ведеться методом занурення у ванну з лаком чи розпиленням з пульверизатора. Далі слід помістити плату до сушильної шафи за температури 60-150 С на 2-3 год. Температура сушіння задається гранично допустимою температурою для навісних електрорадіоелементів, встановлених на друковану плату.

Лак для захисного покриття повинен мати такі властивості: високу вологостійкість, хорошими діелектричними параметрами (малими діелектричної проникністю і тангенсом кута діелектричних втрат), температуростійкістю, хімічною інертністю і механічною міцністю.

Також під час вибору лаку потрібно мати на увазі властивості матеріалів, використаних для виготовлення підставки плати і для приклеювання провідників, щоб при полімеризації цього покриття не зазнали змін властивості цих матеріалів.

Свердління отворів.

Отримання отворів під металізацію найскладнішим і найбільш трудомістким процесом в механічній обробці плат.

Отвори отримують головним чином свердлінням, бо штампування в склопластиках, що застосовуються для виробництва плат є набагато важчим процесом, який супроводжується підвищеним ризиком пошкодити заготовку. Для свердління склопластиків використовують твердосплавний інструмент спеціальної конструкції. Застосування інструменту з твердого сплаву дозволяє значно підвищити продуктивність праці під час свердління і зенкування і поліпшити чистоту обробки отворів. Найчастіше свердла виготовляють з твердуглецевих сталей марки У-10, У-18, У-7. В основному використовують дві форми свердла: складнопрофільні і циліндричні. Так як стеклотекстолит є високоабразивн матеріалом, то стійкість свердел невелика. Так, наприклад, стійкість тонких свердел - близько 10 000 сверлений.

При виборі сверлильного обладнання необхідно враховувати такі особливості, діаметр отворів 0,4 мм і менше, точність розташування отворів 0,05 мм і вище, необхідність забезпечення абсолютно гладких і перпендикулярних отворів поверхні плати, обробка плат без задирок і так далі. Точність і якість свердління залежить від конструкції верстата і свердла.

Для обробки плат широко застосовується одношпиндельний напівавтомат, який може працювати як з проектором, так і зі щупом. На верстаті можна обробляти заготовки плат максимальним розміром 520x420 мм при товщині пакета 12 мм. Частота обертання шпинделя 15 000-30 000 об / хв (змінюється східчасто). Максимальний діаметр свердління 2,5 мм.

Удосконалення сверлильного обладнання для друкованих плат ведеться в наступних напрямках: збільшення числа шпинделів; підвищення швидкості їх подачі і частоти обертання; спрощення методів фіксації плат на столі і їх суміщення; автоматизації зміни свердла; зменшення кроку переміщення; збільшення швидкості приводу; створення систем, що запобігають свердління отворів по незапрограмованих координаті з повторним свердлінням за колишньою координаті; переходу на безпосереднє управління верстата від ЕОМ.

Свердління не виключає можливості отримання отворів і штампуванням, якщо це допускається умовами якості чи визначається формою отворів. Так, штампуванням доцільно виготовляти отвори в односторонніх платах під висновки елементів і в шарах МПП, що виготовляються методом відкритих контактних майданчиків, де перфораційні вікна мають прямокутну форму.

Хімічне міднення.

Першим пунктом в металізації отворів є їх хімічне міднення. При цьому можемо отримати поступовий перехід від діелектричної підставки до металевого покриття. Процес хімічного міднення ґрунтується на відновленні іонів двухвалентної міді з його комплексних солей. Товщина шару хімічно обложеної міді 0,2-0,3 мкм. Хімічне міднення можна проводити тільки після спеціальної підготовки - каталітичної активації, яка можна проводити одноступеневою і двоступінчастим способом.

При двоступеневої активації плату необхідно спочатку знежирити, потім декапірувати торці контактних майданчиків. І переходимо до першого пункту активації - сенсibilізація, під час цього процесу плати будуть опущені на 2-3 хв в соляно-кислий розчин дихлориду олова. Наступним пунктом активації є палладіювання, для чого плати поміщають на 2-3 хв в соляно-кислий розчин дихлориду паладію. Адсорбовані атоми паладію є

високоактивним каталізатором для будь-якої хімічної реакції.

Під час одноступінчастої активації попередня обробка (знежирення і декапирование) є незмінною, а активація відбувається в колоїдному розчині, що містить концентровану сірчану кислоту і катіони паладію при кімнатній температурі.

Зняття захисного лаку.

Перед гальванічним мідненням маємо зняти шар захисного лаку з поверхні плати. Залежно від вибраного на початку обробки лаку, можна підібрати різні розчинники. Деякі лаки можливо зняти ацетоном.

Гальванічна затягування.

Через те, що отриманий шар хімічно обложеної міді зазвичай має невелику товщину (0,2-0,3 мкм), пухку структуру, легко окислюється на повітрі, непридатний для токопроходження, його потрібно додатково захистити за допомогою гальванічного нарощування ("затягуванням") 1-2 мкм гальванічної міді.

Для цього необхідно декапіювати плати в п'ятивідсотковому розчині соляної кислоти протягом 1-3 секунд, за температури 18-25 С, промити плати у проточній воді протягом 2-3 хвилин за нормальної температури 18-25 С, зачистити плати віденським вапном протягом 2-3 хвилин за нормальної температури 18-25 С, промити плати у проточній воді протягом 2-3 хвилин за нормальної температури 18-25 С, знову декапіювати заготовки в п'ятивідсотковому розчині соляної кислоти протягом 1-3 секунд при температурі 18-25 С, промити плати у холодній проточній воді протягом 1-2 хвилин при температурі 20 С, промити плати в воді протягом 1-2 хвилин при температурі, нарешті провести гальванічну затяжку протягом 10-15 хвилин при температурі 20 С,

промити плати холодною проточною водою протягом 1-2 хвилин за нормальної температури 18-25 С, далі слід висушити плати стиснутим повітрям при температурі 18-25 С до їх висихання. Після завершення операції обов'язково перевірити отриманий результат (отвори не мають бути непокритими, осад повинен бути щільний, рожевий, дрібнокристалічний).

Електролітичне міднення та нанесення захисного покриття ПОС-61. Після етапу гальванічної затяжки шар обложеної міді вже досягає товщини в 1-2 мкм. Електролітичне міднення призване довести товщину в отворах до 25 мкм, на провідниках - до 40-50 мкм.

Для запобігання стравлення провідників і контактних площадок під час травлення, необхідно покрити їх захисним металевим покриттям. На вибір є достатнє різноманіття металевих покриттів (переважно сплави), для застосування у захисному покритті.

Зняття фоторезиста.

Стає питання зняття фоторезиста перед операцією травлення.

При великому обсязі випуску плат даний процес проводиться в установках зняття фоторезиста (наприклад, APC-2.950.000). При невеликій кількості плат фоторезист доцільніше знімати в металевому кюветі щетинним пензлем в розчині хлористого метилену.

Травлення друкованої плати.

Травлення призначене для видалення незахищених ділянок фольги з поверхні плати з метою формування малюнка схеми.

Існує кілька видів травлення: травлення зануренням, травлення з барботажем, травлення розбризкуванням, травлення розпиленням.

При травленні з барботажем процес полягає в створенні в обсязі травильного розчину великої кількості бульбашок повітря, що призводять до перемішування травильного розчину всього об'єму, що значно збільшує швидкість проведення операції.

Також маємо на вибір декілька можливих розчинів для травлення: розчин хлорного заліза, розчин персульфата амонію, розчин хромового ангідриду та інші. Найпоширенішим з них є розчин хлорного заліза.

Параметром, що найбільше впливає на швидкість процесу є концентрація розчину. При сильно- і слабкоконтрованих розчинах травлення буде відбуватися повільно. Найкращі результати травлення виходять при щільності розчину 1,3 г / см³. Іншим важливим параметром при травленні є температура. При температурі вище 25 С процес прискорюється, проте натомість псується захисна плівка. При кімнатній температурі мідна фольга розчиняється за 30 сек до 1 мкм.

Очищення друкованої плати.

Очищення покриття олово-свинець проводять в розчині двухлористого олова, соляної кислоти і тіосечовини. В процесі занурюємо плату на 2-3 хвилини в розчин освітлення за температури 60-70 С, промиваємо плати в гарячій проточній воді протягом 2-3 хвилин при температурі 50 С, далі промити плати вже холодною проточною водою протягом 1-2 хвилин при температурі 18 С, промити плати дистильованою водою протягом 1-2 хвилин при температурі 18 С.

Оплавлення друкованої плати.

Оплавлення друкованої плати здійснюється з метою покриття провідників і металізованих отворів олов'яно-свинцевим припоєм. Найбільш часто застосовують конвеєрну установку інфрачервоного оплавлення ПР-3796.

Провідники повинні мати блискучу гладку поверхню. Допускається на поверхні провідників наявність слідів кристалізації припою і частково непокриті торці провідників.

Не допускається відшаровування провідників від діелектричної основи і заповнення припоєм отворів діаметром великим 0,8 мм. Не допускається наявність білого нальоту від погано відмитого флюсу на провідниках і в отворах друкованої плати.

Механічна обробка.

Механічна обробка необхідна для обрізки друкованих плат за розмірами (відрізка технологічного поля) і зняття фаски. Існує кілька способів механічної обробки друкованих плат по контуру.

Безстружкова обробка друкованих плат по контуру відрізняється низькими витратами при використанні спеціальних інструментів. При цьому виключається нагрівання оброблюваного матеріалу. Обробка здійснюється дисковими ножицями. Лінія різку повинна бути спрямована так, щоб не виникло розшарування матеріалу. Зовнішній контур односторонніх друкованих плат при великих серіях формується на швидкісних пресах зі спеціальним ріжучим інструментом. Багатосторонні друковані плати безстружковим методом не обробляються, так як велика ймовірність розшарування.

2.4.2. Вибір ріжучого інструменту та режимів різання

Аналіз сучасних технологій виробництва друкованих плат показав, що забезпечення надійності є найбільш відповідальним етапом процесу виготовлення.

Надійність процесу свердління залежить від:

- матеріалу діелектричного підстави і фольги;
- інструменту, в основному свердел;
- режимів свердління;

Розглянемо ці чинники докладніше.

Матеріали

Проблеми забезпечення процесу свердління монтажних отворів в друкованих платах обумовлені значною різницею в твердості компонентів матеріалів підстави, а саме:

- скляні армуючі волокна діелектричного підстави - середня твердість по Бринелю - 500 НВ;
- мідна фольга - 35 НВ.

Твердість полімерного сполучного має деяке проміжне значення (ближче до 50 НВ)

і сильно залежить від стану діелектричного підстави, в першу чергу від температури.

У будь-якому випадку свердло під час свердління проходить в цілому випадковим чином розташовані

ділянки матеріалів, твердість яких різниться на порядок і більше. Це означає, що процес зносу різальних крайок свердла носить істотно випадковий характер.

При цьому слід зазначити, що ступінь зносу інструменту, тобто його термін служби, залежить від твердості оброблюваного матеріалу.

Зменшити ступінь зносу дозволяє оптимальний вибір кутів заточування різальних крайок. У разі свердління друкованих плат складно вибрати

найоптимальніший варіант заточення, оскільки свердління відбувається в композиційному матеріалі і зміна твердості, як зазначалося вище, носить випадковий характер.

Товщина плати може коливатися від 0,25 до 8 мм, при цьому найбільш поширеними є плати з товщиною близько 1,6 мм.

На практиці для збільшення продуктивності процесу використовують, як правило, свердління стопки заготовок. За рахунок цього збільшується глибина свердління. У разі виготовлення отворів малого діаметра (менше 1 мм) збільшення глибини свердління з урахуванням різноманітності твердості ділянок свердління в композиційних матеріалах може привести до відведення свердла від конструктивного центру отвори. Одночасно відбувається посилений нагрів в зоні різання, що може викликати розплавлення сполучного. Процес наростання температури в зоні різання посилюється поганою теплопровідністю оброблюваного матеріалу, тобто свердел не охолоджується в процесі свердління.

Армування діелектричного підстави здійснюється в основному склотканиною на основі пряжі з алюмоборосилікатного скла. Для поліпшення розмірної стійкості основа плат з композиційного діелектрика в ньому збільшують зміст скловолокна, зокрема збільшують діаметр волокон. Це означає, що в композиційному матеріалі збільшується кількість ділянок з підвищеною твердістю. Як зазначалося вище, це призводить, з одного боку, до підвищення ймовірності відведення свердла, а з іншого, але це бачиться важливим для процесів отримання монтажних отворів, - збільшується температура в зоні різання. Одночасно з цим збільшення твердості за рахунок скла призводить до підвищеного зносу різальних крайок і, природно, скорочення ресурсу свердла. В якості сполучного в діелектричному підставі найбільш часто в даний час використовується Діанова епоксидної смоли, галогенізовані присадки (частіше, бромом) для придання їй вогнестійкості. Зазвичай її позначають як FR-4, що означає Flame retardants - протидіючій вогню (не горючий). Однак загальні міркування з приводу процесу свердління

одина підступи і для інших видів сполучної. Визначальною характеристикою сполучного при свердлінні є температура склування (T_g), тобто температура, при якій повністю пошкоджена смола починає розм'якшуватися. Температура склування для склоепоксидних кополімерів зазвичай становить від 130 до 200 °C.

Наявність мідної фольги товщиною 17 або 35 мкм на діелектричному підставі одно- та двосторонніх друкованих платах не робить істотного впливу на знос ріжучих крайок свердла і, відповідно, на його нагрів. Вищенаведені міркування дозволяють зробити наступні висновки про вплив властивостей матеріалів друкованих плат на знос і нагрівання свердла в процесі свердління:

- 1) прискореного зносу різальних крайок свердла і підвищенню температури в зоні різання сприяє:
 - збільшення частки скловолокна в діелектричному підставі;
 - використання сполучного з підвищеною температурою склування;
- 2) наявність мідної фольги на поверхні діелектрика не робить істотного впливу на знос і температуру свердла;
- 3) процес зносу різальних крайок носить випадковий характер;
- 4) наявність випадкового характеру зносу свердла не робить впливу на нагрівання свердла в ході свердління одного отвору в силу інерційності теплопередачі в тілі свердла і відсутністю тепловіддачі.

Інструмент

Основним інструментом для отримання монтажних отворів в друкованих платах є

твердосплавні свердла. Вони виготовляються з карбіду вольфраму з присадками карбіду кобальту (ВК6, ВК8 по ГОСТ 3882). Цей матеріал стійкий до зношування, мало змінює свої характеристики при нагріванні в діапазоні температур до 500-600 °C і відносно недорогий, що робить його ідеальним для свердління композиційних матеріалів плат, що містять

скло. Разом з тим він щодо крихкий, що може призводити до поломки малорозмірного свердла під час свердління монтажного отвору, зокрема за рахунок відведення свердла від осі отвору і биття.

Його конфігурація дуже сильно позначається на стані різальних крайок під час свердління. Так, ширина ріжучої кромки збільшується через зношування в ході свердління. Чим ширше ріжуча кромка, тим більше сила тертя під час різання. Величина сили тертя визначає величину і швидкість наростання температури в зоні свердління, за рахунок якої, природно, в цілому збільшується температура свердла. Неправильний вибір геометрії спіральних канавок, що залежить від структури композиційного матеріалу, може призводити до налипання стружки в спіральному каналі. Це призводить до додаткової теплоізоляції тіла свердла і, як наслідок, додаткового збільшення температури в зоні різання.

Швидкість наростання температури свердла призводить до швидкого досягнення температури склування, за рахунок цього виникає розмазування і відколи наповнювача. У свою чергу розм'якшення смоли призводить до її захопленню за свердлом на виході з отвору. Це призводить до утворення буртика, підйому і відшарування фольги на контактній площадці друкованої плати (рис. 2, 3).

У ряді випадків цей дефект може призводити до розриву гарантованого паска, що можна розглядати як відмову процесу свердління, що приводить до виникнення невиправного браку плати.

Таким чином, виникнення таких дефектів є сигналом того, що свердло відпрацювало свій ресурс, який в середньому становить близько 1000 отворів.

Разом з тим постачальники свердел для отримання монтажних отворів можуть тільки приблизно, в середньому, вказати їх ресурс. Ця «приблизність» позначається при використанні склотекстолитів, для яких основні параметри механічної обробки наводяться постачальниками також приблизно і розпливчасто.

Відповідно до ГОСТ 25751 «Інструменти ріжучі. Терміни та визначення загальних понять »ресурсом ріжучого інструменту є напрацювання різального інструменту від початку різання новим інструментом до досягнення нею граничного стану.

Поняття граничного стану є загальним і може бути тимчасовим, масовим, путевим, поверхневим, об'ємним і штучним. Ресурс свердел для друкованих плат призначається в штуках, тобто кількості отворів, які можна просвердлити новим свердлом.

Поняття граничного стану відповідно до ГОСТ 27.002-89 «Надійність в техніці.

Основні поняття. Терміни та визначення »визначається як стан кошти, при якому його подальше застосування за призначенням неприпустимо або недоцільно або відновлення його справного чи працездатного стану неможливе чи недоцільне.

Для ріжучого інструменту граничний стан визначається величиною зносу ріжучого клина інструмента.

Визначення величини зносу різальних крайок свердел для друкованих плат є технічно складним і економічно недоцільним.

Тому граничним станом свердла будемо вважати появу відмов у процесі свердління.

На платі, яку почали свердлити новим свердлом, кількість просвердлених отворів

може бути менше призначеного ресурсу свердла. Природним чином виникає бажання продовжено використання цього свердла наступного платі. Однак при цьому немає гарантії того, що ресурс свердла буде досягнуто, а всі отвори будуть виконані. Також немає гарантії, що не почнуть з'являтися дефекти свердління раніше ніж буде досягнуто призначений постачальником ресурс. Останнє може виникнути при неправильному виборі режимів свердління.

Паліативом збільшення ресурсу свердла з міркувань економії є повторна заточка свердла. Вартість повторного заточення інструменту може

становити 15% від вартості нового свердла. Число повторних заточек свердла варіюється від 1 до 10 і навіть більше і зазвичай залежить від його діаметра [1]. Однак повторно заточене свердло вже не зможе функціонувати як нове, оскільки обробці піддається тільки його вершина, тоді як решта, включаючи ріжучу кромку, вже не оновлюється. Стан цієї кромки має велике значення, оскільки вона є тією частиною свердла, яка обробляє стінку отвори.

При перезаточки формується в першу чергу кут при вершині свердла (2φ). чим менше

кут, тим менше навантаження на одиницю довжини різальної крайки, зменшується товщина зрізуваної стружки і теплота від ріжучої кромки відводиться краще. Однак при цьому істотно зростає зусилля різання і, відповідно, збільшується кількість утвореного через тертя тепла.

Тому слід шукати розумний компроміс між зростанням температури в зоні різання

і величиною тепловідведення.

При свердлінні монтажних отворів в стеклотекстолите твердосплавними свердлами кут при вершині повинен складати 70-90 градусів [6]. Однак ця величина є істотно середньою і значно варіюється в залежності від матеріалу підстави плати.

З викладеного можна зробити наступні висновки, що стосуються залежності надійності процесу свердління від обраного інструменту:

1) геометричні характеристики свердла роблять істотний вплив на величину

його ресурсу;

2) збільшення ширини ріжучої кромки за рахунок зносу призводить до збільшення температури в зоні різання при інших рівних умовах;

3) збільшення температури в зоні різання призводить до збільшення швидкості зносу ріжучих кромки;

4) залежність знос-температура свердла носить нелінійний і випадковий характер;

5) величина призначеного постачальником свердла ресурсу є величиною суто приблизною і орієнтованою на знос ріжучих крайок, який є складно визначним;

6) практично значущою подією в визначенні ресурсу свердла є поява відмов процесу свердління.

Режими різання

Режими свердління мають найбільший вплив на надійність процесу свердління, адже, з одного боку, можуть змінюватися в досить великому діапазоні величин, а з іншого - надають технологу достатню свободу у виборі цих величин.

Відзначимо також, що саме режими свердління забезпечують найбільшу керованість надійністю процесу свердління. Якщо характеристики матеріалів плати і властивості застосованих свердел є по суті заданими і визначаються постачальниками, то режими обробки визначає конкретний технолог на конкретному виробництві. певні технологом режими повинні забезпечувати найбільшу надійність процесу за умови мінімальної вартості.

Природно, що постачальник зазначає стійкість свердел для деяких усереднених режимів обробки і вельми умовних властивостей матеріалів. Приклад таких даних показаний в таблиці нижче.

| Параметры для FR4 2–6 слоя | | | | | | Тип сверла: НАМ 382 | | | |
|----------------------------|--------------------------|--------------------|----------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|--|
| Диаметр [мм] | Длина режущей части [мм] | Толщина стека [мм] | Девнация [мкм] | Обороты шпинделя [об./мин × 1000] | Скорость подачи [мкм/об.] | Скорость подачи [м/мин.] | Обратный ход [м/мин.] | Скорость резания [м/мин.] | Ресурс стойкости инструмента [сверлений] |
| 0,60 | 7,00 | 5,70 | 50 | 95 | 50 | 4,75 | 12 | 180 | 4000 |
| 0,70 | 10,50 | 8,20 | 70 | 82 | 55 | 4,50 | 14 | 180 | 4000 |
| 0,80 | 10,50 | 8,20 | 70 | 72 | 60 | 4,30 | 15 | 180 | 5000 |
| 0,90 | 10,50 | 8,20 | 70 | 64 | 70 | 4,50 | 15 | 180 | 5000 |
| 1,00 | 10,50 | 8,20 | 65 | 57 | 80 | 4,60 | 15 | 180 | 5000 |
| 1,10 | 10,50 | 8,20 | | 52 | 90 | 4,70 | 15 | 180 | 4000 |
| 1,20 | 10,50 | 8,20 | | 48 | 100 | 4,80 | 15 | 180 | 4000 |
| 1,30 | 10,50 | 8,20 | | 44 | 100 | 4,40 | 15 | 180 | 4000 |
| 1,40 | 10,50 | 8,20 | | 41 | 100 | 4,10 | 15 | 180 | 4000 |
| 1,50 | 10,50 | 8,20 | | 38 | 100 | 3,80 | 15 | 180 | 4000 |

Наведені в таблиці постачальником відомості про ресурс свердла не вказують ні склад FR-4, ні глибину свердління. Однак від складу матеріалу залежить температура склування і, відповідно, критерій настання відмови процесу свердління. Відсутність відомостей про сумарну глибину свердління не дозволяє оцінювати величину температури в зоні різання: чим більше глибина, тим більше температура. Разом з тим величина температури також є критерієм відмови процесу свердління.

Постачальник свердел, вказуючи ресурс свердла, орієнтується на граничний стан ріжучої кромки свердла. Однак, як вказувалося раніше, для ріжучого інструменту граничний стан визначається величиною зносу ріжучого клина інструмента.

Основним і в першу чергу з'являються дефектом під час свердління отворів є наволакування наповнювача на стінки отвору і захоплення його за межі заданих геометричних розмірів з утворенням буртиків на вході і виході свердла.

Таким чином, ресурс свердла при отриманні монтажних отворів в друкованих платах повинен визначатися відсутністю дефектів отвори.

Поява таких дефектів визначається в першу чергу температурою в зоні різання, яка залежить від режимів різання: глибини різання, швидкості подачі і швидкості різання.

При свердлінні отворів глибина різання є величиною постійною, рівною половині діаметра свердла.

Швидкість подачі визначає в першу чергу силу тертя задньої поверхні ріжучої кромки по тілу композитного матеріалу.

Швидкість різання визначає час дії сили тертя під час свердління, тобто час

нагрівання свердла.

Найбільший вплив на стійкість інструменту з точки зору зносу надає швидкість різання. Так, підвищення швидкості різання на 50% знижує стійкість інструменту приблизно на 75%, в той час як аналогічний збільшення подачі знижує стійкість на 60%.

Найбільша швидкість різання під час свердління доводиться на периферію свердла і, здавалося б, найбільший знос повинен також відбуватися на периферії. Однак зношується в першу чергу поперечна кромка свердла. Це пов'язано з тим, що швидкість зносу залежить в першу чергу від сили тертя між інструментом і оброблюваним матеріалом. Сила тертя на периферії ріжучої кромки свердла в $\sin \varphi$ разів менше, ніж сила тертя на поперечної кромці (тут 2φ - кут заточування свердла).

З точки зору продуктивності має сенс підвищувати швидкість різання. Однак це веде до підвищення температури в зоні різання, посиленому зносу і скорочення ресурсу свердла. Спроба при цьому орієнтуватися на заявлений постачальником ресурс може призводити до порушення нормальної роботи отвори, тобто до відмови процесу свердління.

Механізм зносу визначається дифузійними, адгезивними і абразивними явищами.

Для випадку свердління друкованих плат, тобто в основному свердління композитних матеріалів, відсутня дифузійний і адгезивний знос. Це пояснюється тим, що температура в зоні репізнання істотно нижче температури теплостійкості твердих сплавів і тому не можна говорити про взаємопроникнення матеріалів тіла виробу і матеріалу ріжучого інструменту. Адгезивний знос відсутній в силу того, що твердість матеріалу свердла істотно вище твердості наповнювача композитного матеріалу. Твердість скловолокна порівнянна з твердістю твердого сплаву, проте для прояву адгезійних властивостей скла потрібна температура істотно більш висока, ніж та, яка розвивається під час свердління монтажних отворів.

Тому основним механізмом зносу ріжучої кромки свердла є абразивний знос,

який в першу чергу визначається об'ємною часткою скла в композитному матеріалі.

Постачальник свердел, вказуючи на ресурс свердла, традиційно і відповідно з загальноприйнятими нормами орієнтується на знос ріжучих кромок.

Однак для технологічних процесів свердління друкованих плат ресурс визначається не можливістю отримання отворів, а відсутністю дефектів в одержуваних отворах.

Швидкість різання при свердлінні визначається простим співвідношенням

$$V_{\text{різ}} = \pi d n / 1000,$$

де $V_{\text{різ}}$ - швидкість різання (м / хв); d - діаметр свердла (мм); n - швидкість обертання шпинделя (Об. / Хв).

або виявлених технологом швидкостей різання потрібні все більші швидкості обертання шпинделя.

Швидкість різання визначається частотою обертання шпинделя і діаметром свердла. для досягнення бажаної продуктивності при зменшенні діаметра одержуваного отвори потребує збільшення частоти обертання шпинделя. При постійній швидкості подачі збільшення частоти обертання шпинделя веде до збільшення температури в зоні різання.

Для свердління склопластиків використовують твердосплавний інструмент спеціальної конструкції. Застосування інструменту з твердого сплаву дозволяє значно підвищити продуктивність праці під час свердління і зенковки та поліпшити чистоту обробки отворів. Найчастіше свердла виготовляють з твердовуглецевих сталей марки У-10, У-18, У-7. В основному використовують дві форми свердла: складнопрофільні і циліндричні. Так як склотекстоліт є високоабразивним матеріалом, то

стійкість свердел невелика. Так, наприклад, стійкість тонких свердел - близько 10 000 свердлінь.

2.4.3. Типовий процес обробки друкованої плати свердлінням

Початково маємо плату (рис. 2.1):

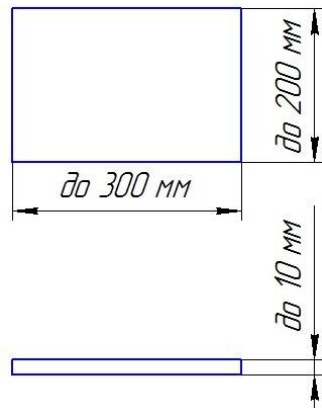


Рисунок 2.1. Плата

В ході роботи було розроблено технологічний процес свердління плати:

1. Встановити підкладку і плату на стіл і притиснути кронштейном (рис. 2.2):

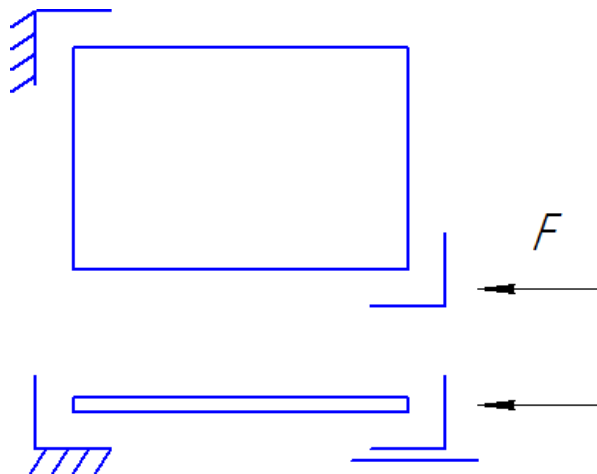


Рисунок 2.2. Установка плати

2. Завантажити в ПК проектний креслення плати
3. Запустити верстат
4. Просвердлювати отвори (рис. 2.3):

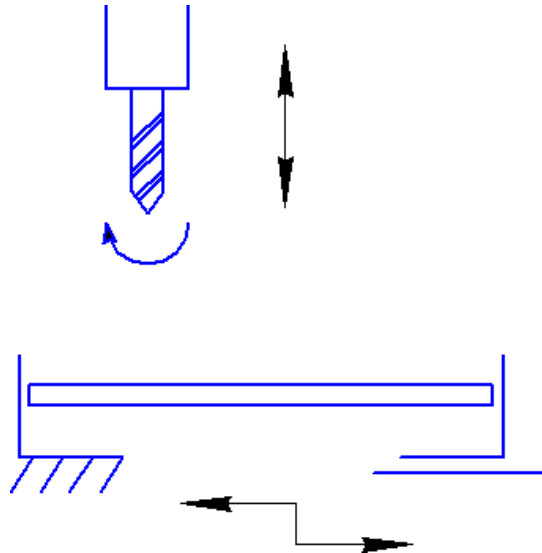


Рисунок 2.3. Свердління отворів

При необхідності змінити інструмент після зупинки верстата і продовжити процес (рис. 2.4):

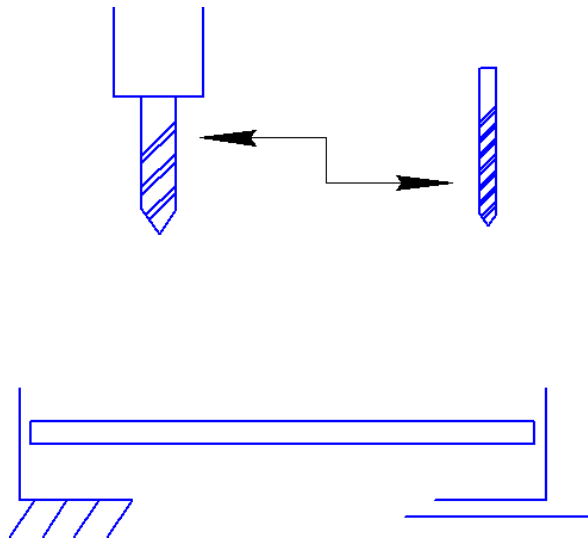


Рисунок 2.4. Заміна інструменту

5. Дочекатися, поки верстат зупинитися в крайньому положенні.
6. Зняти плату (рис. 2.5):

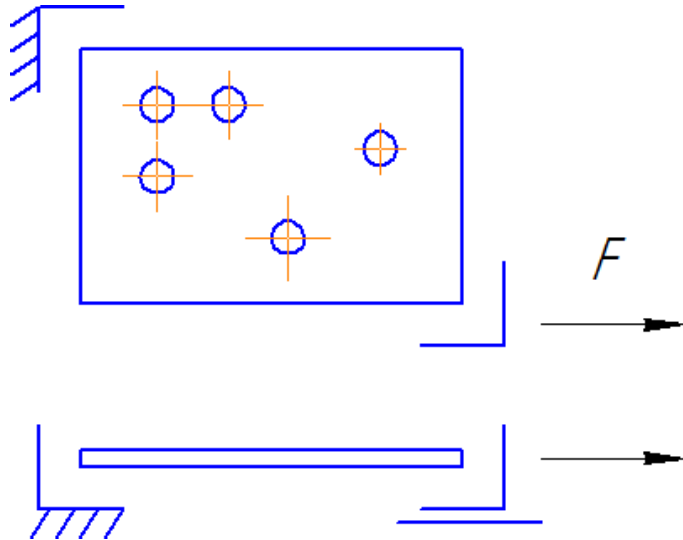


Рисунок 2.6. Видалення плати

У підсумку отримуємо необхідні отвори в платі (рис. 2.3).

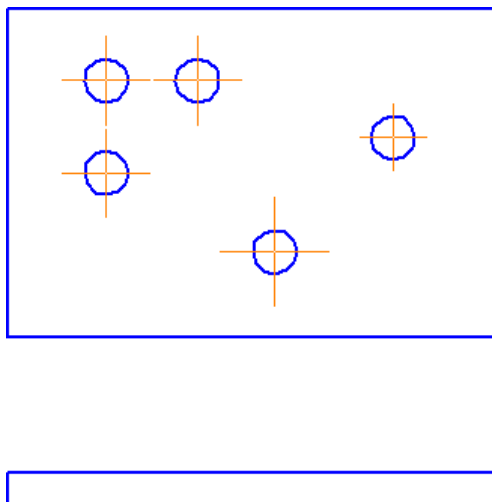


Рисунок 2.6. Плата с отверстиями

2.5. Опис конструкції верстату

Рама верстата являє собою алюмінієвий профіль 30x30 мм і 30x60 мм з пазом 8 мм, з'єднаний між собою пластинами (рис. 3.4.1). Даний профіль легкий (0,86 кг / м), забезпечує достатню міцність і жорсткість конструкції, просто розбирається, доповнюється і модернізується, має уніфікований кріпильний паз.

На раму за допомогою універсального кріплення встановлюються кінцеві вимикачі, напрямні з кронштейнами для установки на раму, кульково-гвинтові пари з опорами (одна опора фіксуюча, інша плаваюча), кронштейн з кроковим двигуном і енкодером, який за допомогою муфти з'єднується з ШВП. На трчмач гайки ШВП і втулки напрямних кріпиться пластина, на яку буде встановлений координатний стіл.

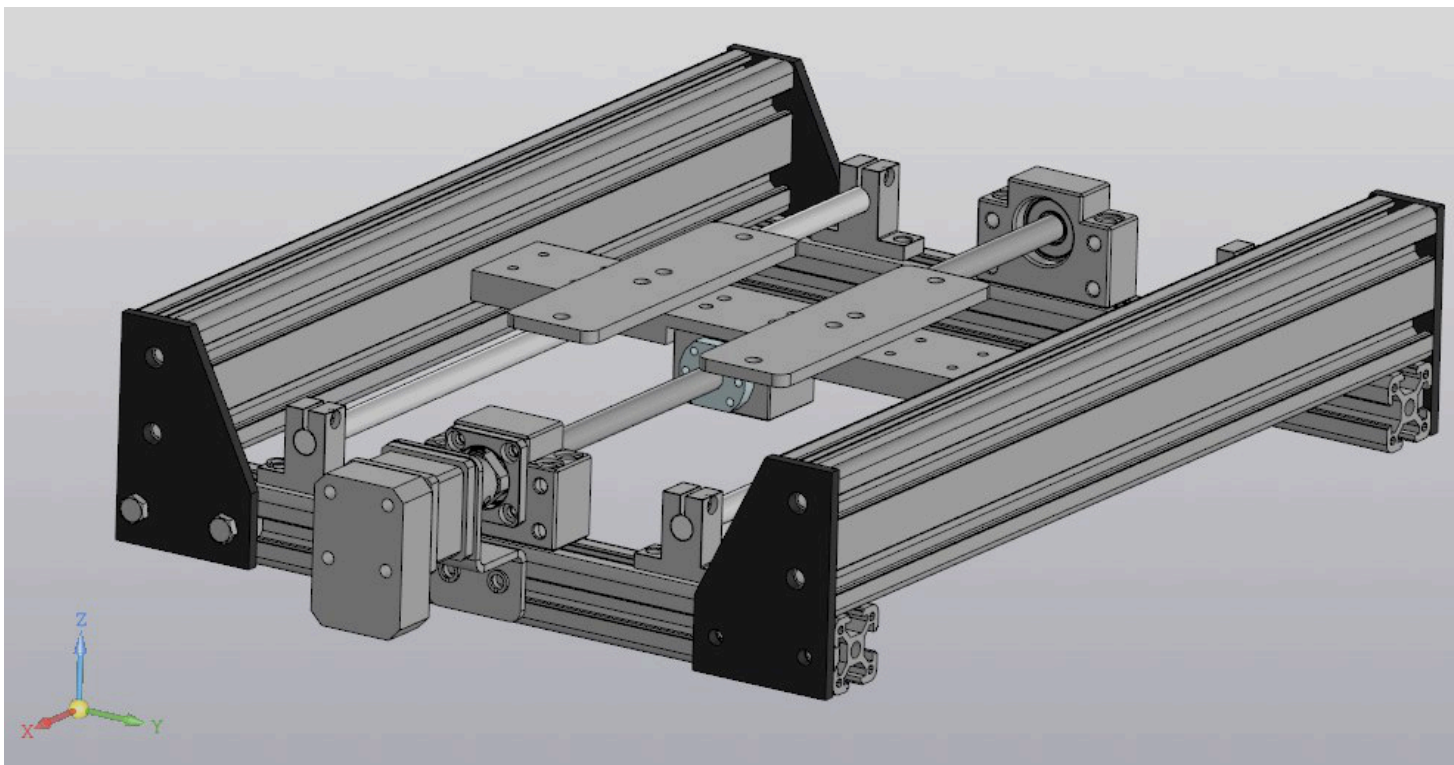


Рисунок 3.4.1. Рама верстата

Координатний стіл (рис. 3.4.2) - профільна плита 350x220x20 мм, на якій встановлені два кронштейна, один з яких нерухомий, а другий змінює місце розташування в залежності від розміру плати. Плата позиціонується на полицях кронштейнів і фіксується притисками. Під плату встановлюється підкладка (дерев'яний брусок).



Рисунок 3.4.2 Координатний стіл

Верхня горизонтальна вісь (рис. 3.4.3) - ШВП та напрямні закріплені між двох пластин. На пластинах встановлені кінцеві вимикачі, кронштейни напрямних і опори ШВП. На одній з пластин на кронштейні встановлений кроковий двигун з енкодером, з'єднаний з ШВП через муфту. На тримач гайки ШВП і втулки напрямних кріпиться каретка осі z.

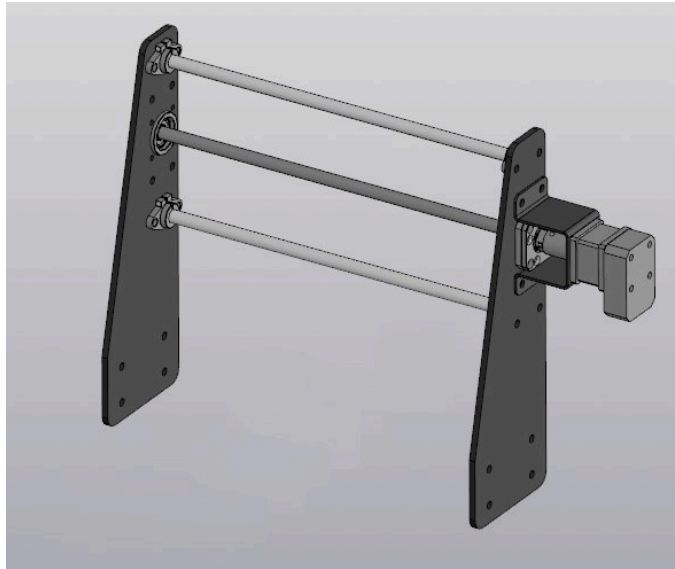


Рисунок 3.4.2. Верхня горизонтальна вісь

Каретка верхньої вертикальної осі (рис. 3.4.4) являє собою пластину, на яку кріпляться два кронштейна для установки на них кінцевих вимикачів, направляючих з кронштейнами, кульково-гвинтові пари з опорами (одна опора фіксуюча, інша плаваюча), крокового двигуна, який за допомогою муфти з'єднується з ШВП. Тримач гайки ШВП з'єднаний з кареткою, встановленою на напрямних. На каретку буде встановлено свердлильний вузол.

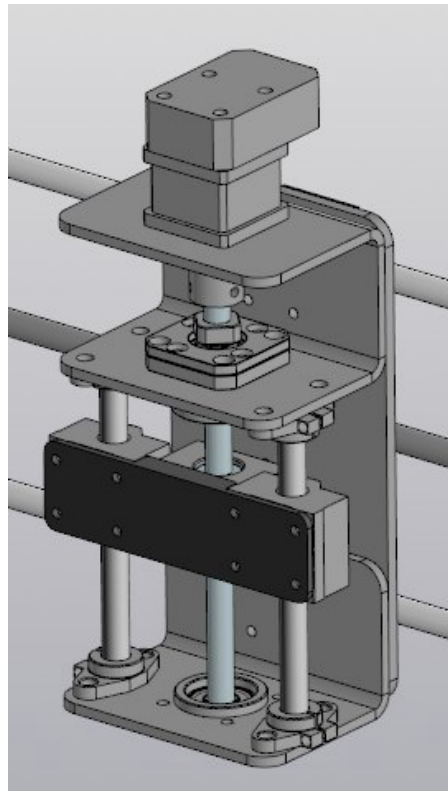


Рисунок 3.4.4. Каретка верхньої вертикальної осі

Свердлильний вузол представлений на рис. 3.4.5. На колекторний двигун встановлений цанговий патрон з цангою, в якій встановлюється інструмент.

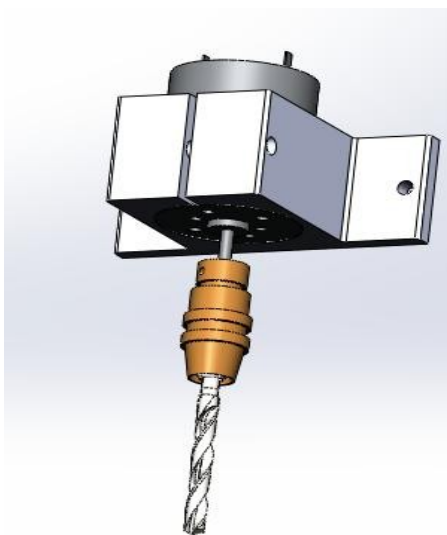


Рисунок 3.4.5. Свердильный вузол

Вся конструкція верстата представлена на рисунку 3.4.6.

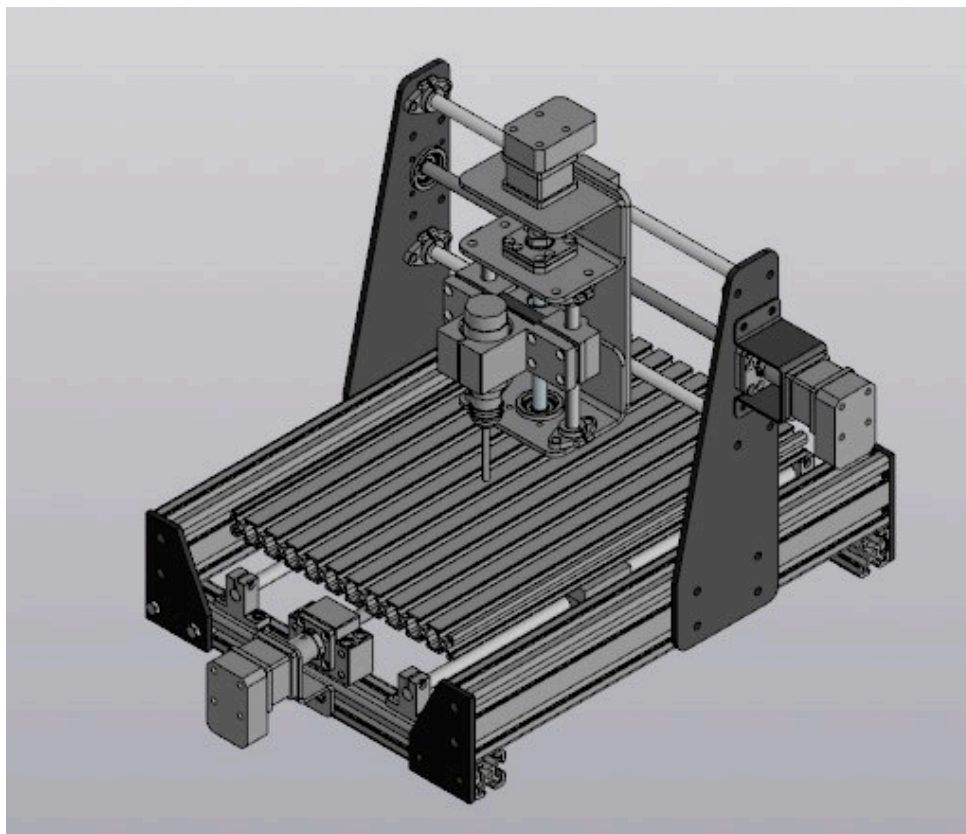


Рисунок 3.4.6. Конструкція свердильного верстата

Складальне креслення верстата представлено в додатку.

3. ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВЕРСТАТУ

За технічним завданням - переміщення плати і шпиндельної головки по осях здійснюється кроковими двигунами.

Підбір крокового двигуна будемо так само проводити для самої навантаженої ШВП.

Момент, необхідний для обертання ШВП: Н·м, частота обертання ($n = 120$ об / хв). Так як крутний момент крокової двигуна сильно знижується при великих оборотах, прийmemo

$$T_{\text{дв}} = 0,043 \cdot 1,5 = 0,062 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

коефіцієнт запасу по моменту 1,5.

Двигун вибираємо з каталогу і подивимося його характеристики (рис.3.2.1, 3.2.2).

Шаговые двигатели FL39ST - 1.8°



Гибридные [шаговые двигатели](#) серии **FL39ST** используются в аналитическом и медицинском оборудовании, измерительных приборах, факсимильных аппаратах, принтерах, копировальных машинах.

A - вал с одной стороны
B - вал с двух сторон

Производитель: [Fulling Motor](#)

Модели **Параметры** Диаграммы Чертеж Схема Файлы

| Параметр | Значение |
|--|-------------------------------------|
| Угловой шаг, град | 1.8 |
| Погрешность углового шага, град | ± 5% (полный шаг, без нагрузки) |
| Погрешность сопротивления обмоток двигателя, % | ± 10% |
| Погрешность индуктивности, % | ± 20% |
| Рабочая температура | -20°C ~ +50°C |
| Сопротивление изоляции | ≥ 100 MΩ, 500 VDC |
| Диэлектрическая прочность | 500 VAC до одной минуты |
| Максимальное радиальное биение вала двигателя, мм | 0.02 (при нагрузке 450 грамм) |
| Максимальное осевое биение вала двигателя, мм | 0.08 (при нагрузке 450 грамм) |
| Максимальная допустимая радиальная нагрузка на вал | 28 Н |
| Максимальная допустимая осевая нагрузка на вал | 10 Н |
| Максимальный нагрев двигателя | 80°C (при номинальном токе, 2 фазы) |
| Крутящий момент, кг·см | 0.65 ~ 2.9 |
| Ток фазы ШД, А | 0.3 ~ 0.8 |

Рисунок 3.2.1. Характеристики крокового двигуна

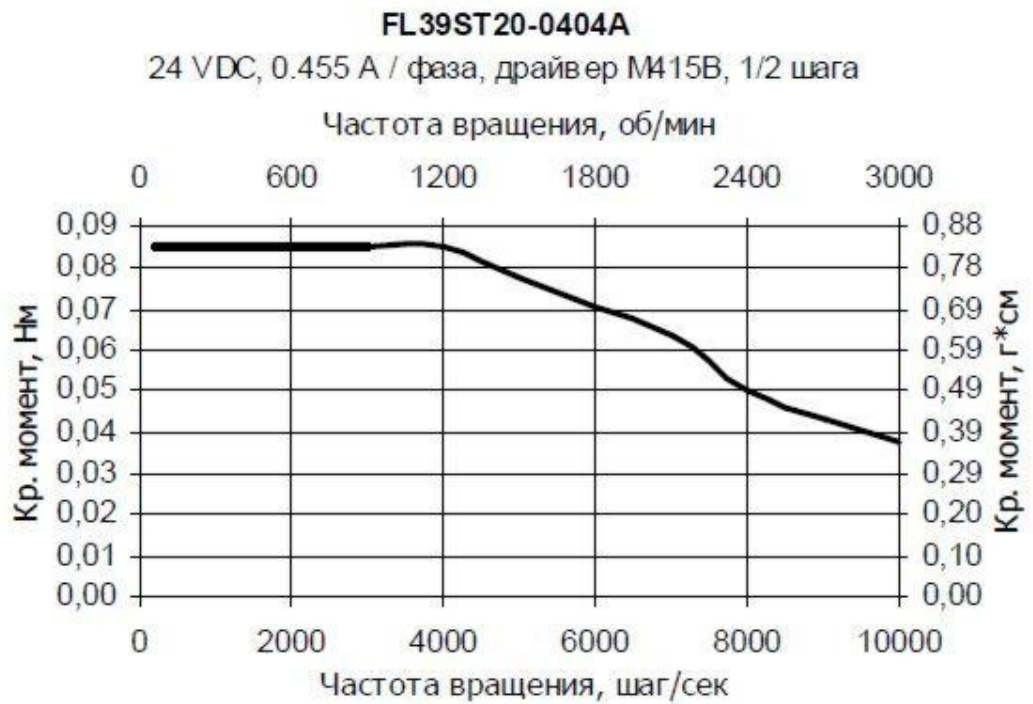


Рисунок 3.2.2. Діаграма залежності крутного моменту від частоти обертання крокового двигуна

З графіка видно, що при необхідній кількості обертів ($n = 1200$ об / хв), значення моменту перевищує ліміт ($0,085$ Н / м $> 0,062$ Н / м), отже обраний кроковий двигун підходить для верстата.

Виберемо драйвер для крокової двигуна з рекомендованих за каталогом:

Так як крокових двигунів в верстаті, і необхідна їх узгоджена робота, виберемо трьох осьової драйвер крокових двигунів SMD-303 (рис. 3.2.3)



Рисунок 3.2.3. Трьох осьової драйвер крокових двигунів SMD-303

Вибір колекторного двигуна:

Для обертання інструменту, виходячи з аналогових пристроїв, виберемо колекторний електромотор.

Колекторні електродвигуни є універсальними, оскільки можуть працювати від постійного струму. При порівняно невеликих розмірах, вони володіють великим пусковим моментом. Колекторні двигуни відрізняються плавним пуском і можливістю регулювання кількості обертів двигуна.

При виборі двигунами керуємося тим, що чим частота обертів вала двигуна буде вище, тим якісніше будуть виходити отвори і швидше йти робота. Проаналізувавши аналогічні саморобні свердлильні верстати, виберемо двигун ДПМ-35-Н1-01 (рис. 3.2.4).

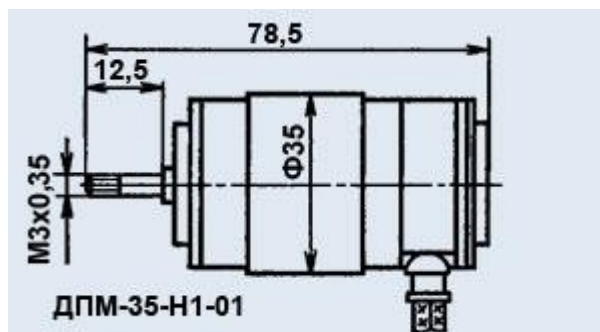


Рисунок 3.2.4. Колекторний двигун ДПМ-35-Н1-01

Технічні характеристики двигуна ДПМ-35-Н1-01:

- Напруга живлення, 27 В
- Номінальна потужність, 13,87 Вт
- Частота обертання, 9000 об/хв
- Номінальний крутний момент, 14,7 мН м
- Пусковий момент, 68,6 мН м
- Вживаний ток, 1,5 А
- Коефіцієнт корисної дії, 34 %
- Маса, 0,34 кг

Для регулювання швидкості обертання колекторного двигуна паралельно підключимо реостат.

На вихідний вал двигуна встановлюємо цанговий патрон:



Рисунок 3.2.4. Колекторний двигун з цанговим патроном

Для синхронізації роботи крокових і колекторного двигунів, необхідна плата комунікації.

4. ПІДТВЕРДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВЕРСТАТУ

4.1. Кулько-гвинтова передача

Кулькові гвинтові передачі (далі – КГП) мають високий ККД (понад 95%) завдяки заміні тертя ковзання тертям кочення між гайкою і гвинтом. З цієї ж причини необхідне зусилля для обертання гвинта становить приблизно одну третину в порівнянні з традиційною передачею "гвинт – гайка" з трапецеїдальною різьбою того ж діаметру. Через те, що, за технічним завданням, привід переміщення необхідно виконати на крокових двигунах, а їхній крутний момент сильно знижується при великих оборотах, то, незважаючи на високу вартість КГП, оберемо саме її. Також в КГП відсутній люфт між гайкою і гвинтом, що позитивно впливає на точність позиціонування.

Необхідно підібрати готові та представлені на ринку КГП приводу каретки. Максимально навантаженим вузлом верстату є вертикальна каретка, яка забезпечує переміщення шпиндельного вузла у вертикальному напрямку.

Розрахунок будемо робити для неї (рис. 4.1).

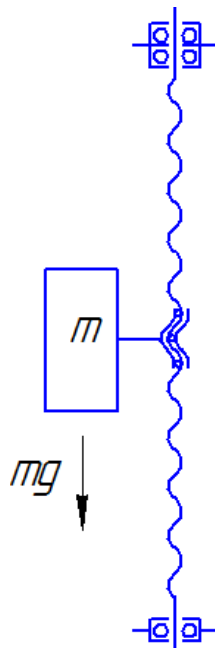


Рис. 4.1. Схема навантаження КГП вертикальної каретки

Зовнішня сила - вага каретки зі шпиндельним вузлом. Прийmemo силу $F = 20 \text{ Н}$, Лінійна швидкість переміщення веденого елемента (гайки) $v = 0,1 \text{ м / с}$. Необхідний ресурс $= 10^4$ год.

У верстатобудуванні кулько-гвинтові передачі стандартизовані. Для гайок застосовують сталі 9ХС, ШХ15, 18ХГТ. Гвинти виготовляють з сталей ХВГ, 8ХФ, 20ХЗМВФ. Робочі поверхні гартують до твердості $H \geq 61 \text{ HRC}$.

Матеріал гвинта і гайки. Для гвинта приймаємо сталь ХВГ, для гайки - сталь 9ХС (плавка звичайна). Термообробка-гартування робочих поверхонь до твердості $H \geq 61 \text{ HRC}$.

Розрахункові коефіцієнти. При звичайній плавці металу і при 95% -ій надійності передачі приймаємо значення коригувальних коефіцієнтів: $K_M = 1$ (коефіцієнт, що враховує якість матеріалу); $K_P = 0,85$ (коефіцієнт надійності передачі).

Орієнтовний значення необхідної динамічної вантажопідйомності для передачі з натягом:

$$C'_a = \frac{1,25 \cdot F}{K_M K_P}, \quad \text{---}$$

де F – осьова сила,

K_M - коефіцієнт, що враховує якість матеріалу,

K_P - коефіцієнт надійності передачі

При звичайній плавці металу і при 95% -ної надійності передачі приймаємо значення коригувальних коефіцієнтів: $K_M = 1$ (коефіцієнт, що враховує якість матеріалу); $K_P = 0,85$ (коефіцієнт надійності передачі).

$$C'_a = \frac{1,25 \cdot 20}{1 \cdot 0,85} = 73,5 \text{ Н}$$

Виходячи з отриманого значення вантажопідйомності видно, що цей параметр не є ключовим при виборі КГП.

Основні розміри передачі. Вибираємо КГП виходячи з лінійної швидкості переміщення веденого елемента $v=0,1$ м/с, тоді $d_0=12$ мм, $d_w = 2,5$ мм, $p=5$ мм, $V_{scr}=0,08...1,2$ м/с, $C_a = 11$ кН, $C_{0a} = 18$ кН. Приймаємо передачу з однією гайкою.

Частота обертання гвинта:

$$n = \frac{v}{z \cdot p},$$

де v – лінійна швидкість переміщення веденого елемента,

z – кількість заходів різьби,

p – крок різьби,

$$n = \frac{0,1}{1 \cdot 0,05} = 2 \text{ об/сек}$$

$$n = 2 \cdot 60 = 120 \text{ об/мин}$$

Скоригована динамічна
вантажопідйомність:

де K_M – коефіцієнт, що враховує якість матеріалу,

$$C_{ar} = K_M \cdot K_P \cdot C_a,$$

K_P - коефіцієнт надійності передачі,

C_a – динамічна вантажопідйомність

$$L = \left(\frac{C_{ar}}{F_E} \right)^3$$

$$L = \left(\frac{9350}{20} \right)^3 = 102 \text{ млн. об.}$$

$$L_h = \frac{L}{60 \cdot n}$$

$$L_h = \frac{102\,175\,047}{60 \cdot 1200} = 14\,191 \text{ ч}$$

Ресурс передачі:

Умову виконано (ч), отже, передача пригодна. Визначення ККД кульково-гвинтової передачі.

а) Приведений кут тертя в різьбі $\rho=0.34^0$.

б) Кут підйому різьбив

$$\psi = \arctg\left(\frac{p \cdot z}{\pi \cdot d_0}\right)$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{5 \cdot 1}{3,14 \cdot 16}\right) = 5,68^0$$

$$\eta_{вп} = \frac{tg\psi}{tg(\psi + \rho)}$$

$$\eta_{вп} = \frac{tg(11,25)}{tg(11,25 + 0,34)} = 0,99$$

в) ККД гвинтової пари знаходимо за формулою:

г) ККД кульково-гвинтової передачі: $\eta = 0,97$ (ККД опор)

де v – лінійна швидкість переміщення веденого елемента

Момент загвинчування передачі за формулою:

$$\eta_{швп} = 0,97 \cdot 0,99 = 0,96$$

$$T_{зав} = \frac{F \cdot z \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot \eta_{швп}}$$

$$T_{зав} = \frac{20 \cdot 1 \cdot 5}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^3 \cdot 0,96} = 0,017 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Обрану КГП встановимо на опори, відповідно до рекомендацій виробника: з одного боку плаваюча ВФ 12, з іншого фіксує ВК 12 (схема установки рис. 4.1.1).

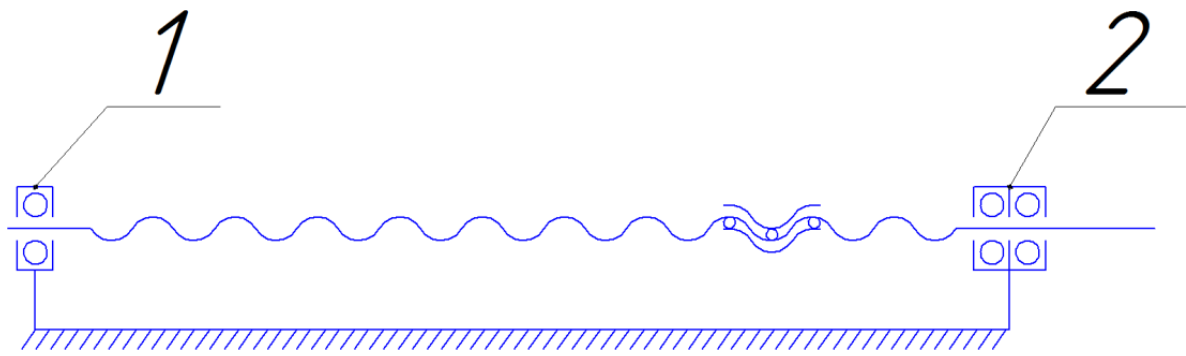


Рисунок 4.1.1. Схема установки опор КГП.

У плаваючою опорі 1 ВР 10 встановлений радіальний підшипник, фіксуючий гвинт в радіальному напрямку і не сприймає осьові навантаження.

Фіксуюча опора 2 ВК 10 для кріплення гвинта КГП. В фіксуючих опорах встановлені два радіально-упорних підшипника, що дозволяє жорстко фіксувати гвинт в радіальному напрямку і створювати натяг в осьовому. Рекомендується при кріпленні гвинта КГП використовувати як мінімум одну фіксуючу опору - це позитивно позначається на максимальній швидкості обертання пари.

4.2. Жорсткісні та міцнісні розрахунки елементів конструкції

Зробимо розрахунок переміщень за допомогою програми Solidworks двох вузлів верстата.

Розрахуємо переміщення кронштейна, на якому встановлюється каретка з колекторним двигуном (рис. 4.5.1). Схема навантаження представлена на рисунку 4.5.2.

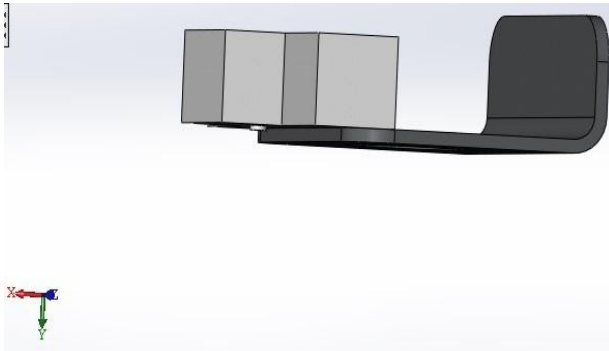


Рисунок 4.5.1. Кронштейн з кареткою колекторного двигуна

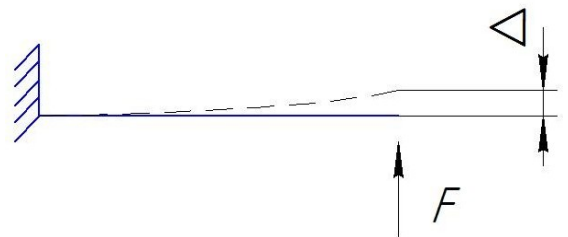


Рисунок 4.5.2. Схема навантаження кронштейна

Приймемо силу $F = 20$ Н (сила, що діє на свердло з боку матеріалу). Розрахуємо результуюче переміщення кронштейна.

Результати розрахунку результуючого переміщення представлені на рисунку 4.5.3.

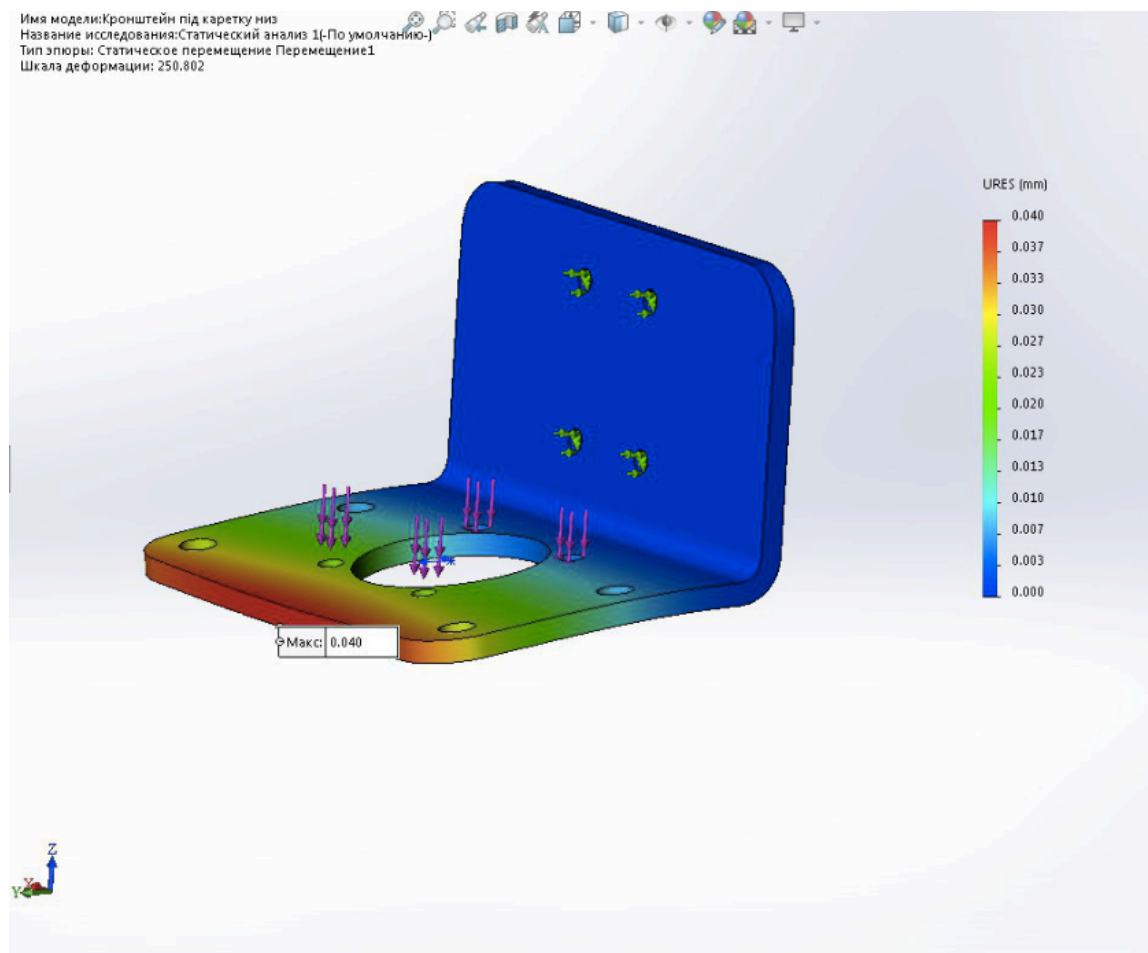


Рисунок 4.5.3. Результати розрахунку кронштейна

Результующе переміщення $\Delta_{\max}=0,04$ мм

Розрахуємо переміщення напрямних, закріплених між пластинами порталу (рис.4.5.4). Схема навантаження представлена на рисунку 4.5.5.

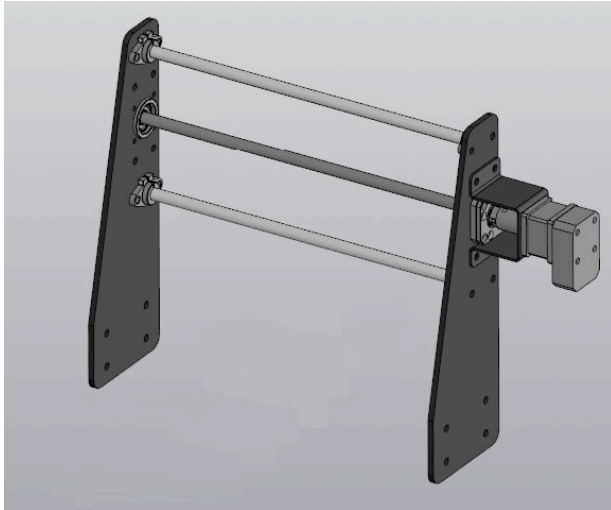


Рисунок 4.5.4. Портал з напрямними

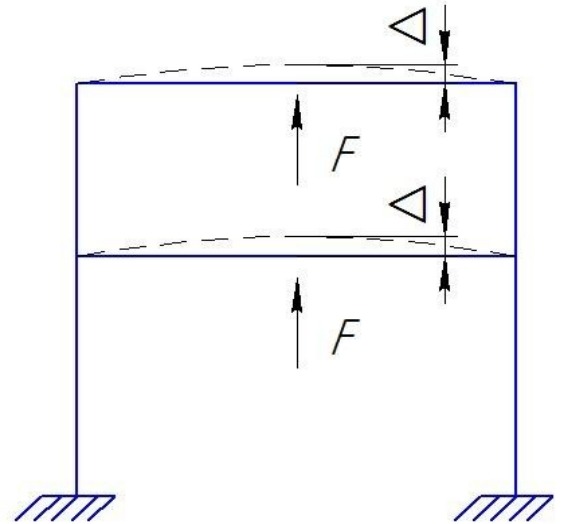


Рисунок 4.5.5. Схема навантаження портала з напрямними

Приймемо силу $F = 20$ Н. Розрахуємо результуюче переміщення кронштейна.

Результати розрахунку представлені на рисунку 4.5.6.

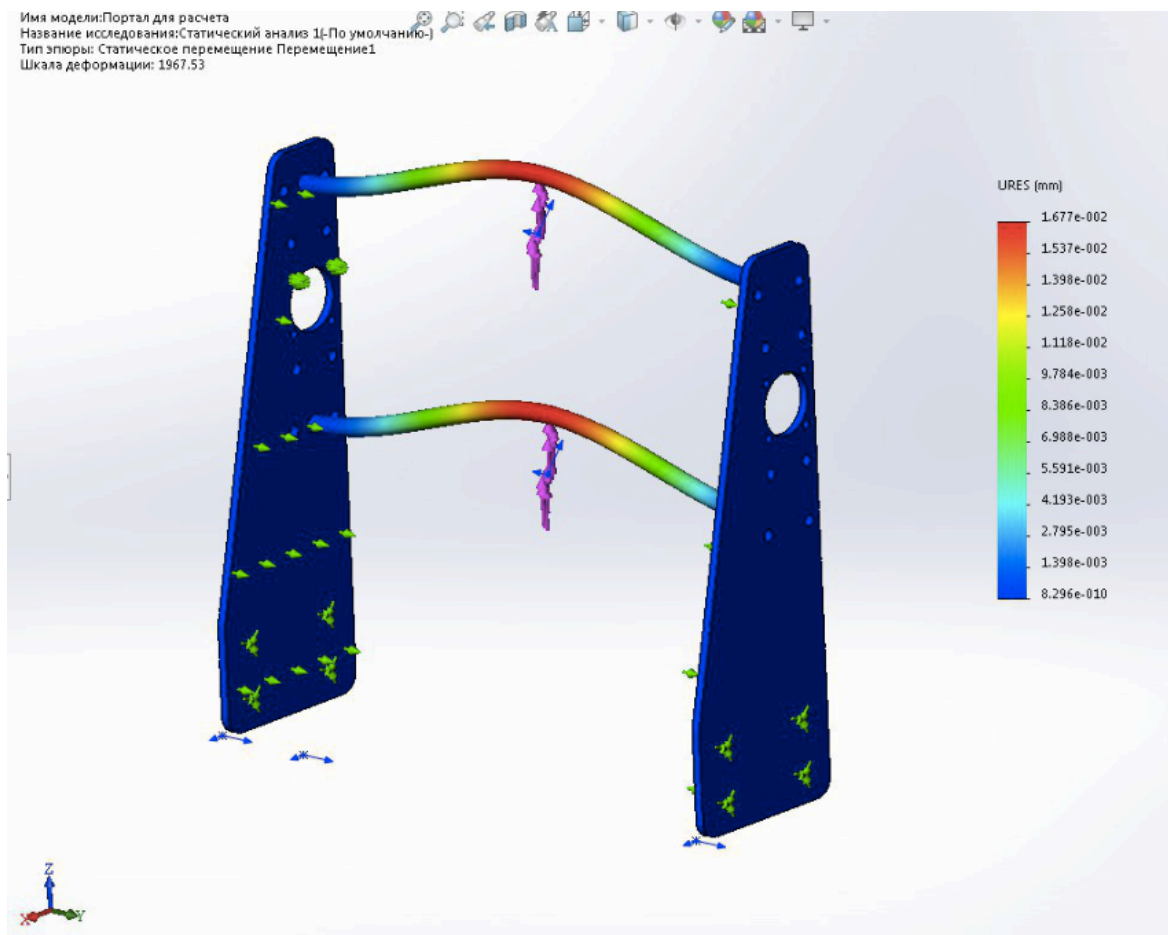


Рисунок 4.5.6. Результаты розрахунку портала з напрямними

Результуюче переміщення $\Delta_{\max}=16,7 \times 10^{-3}$ мм

Переміщення кронштейна з кареткою і напрямних порталу незначні щодо похибки крокової двигуна, отже їх можна не враховувати при розрахунку.

4.3. Розрахунок похибки позиціонування свердильної головки

За технічним завданням похибка позиціонування свердильної головки щодо плати $\pm 0,5$ мм.

Прийmemo, що основну похибку позиціонування створює похибка крокового двигуна.

Оцінимо її значення при обраному приводі:

Похибка позиціонування від крокової двигуна показана на рисунку 4.3.1.

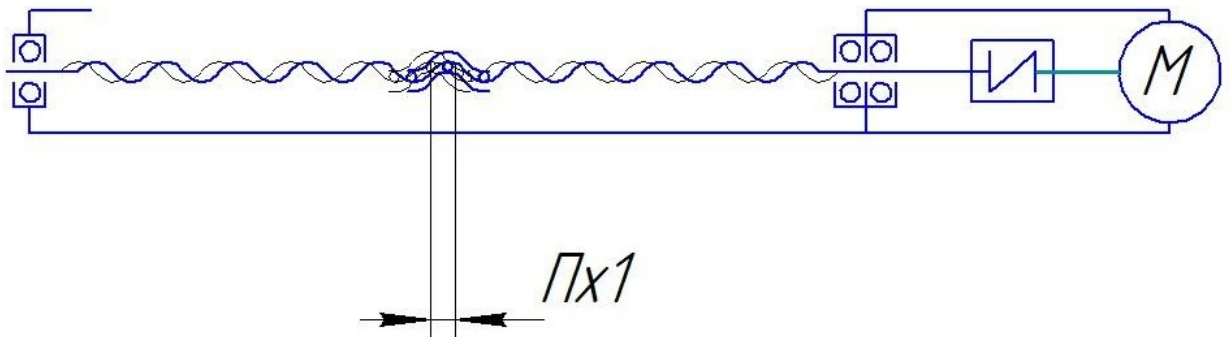


Рисунок 4.3.1. Похибка позиціонування від крокової двигуна

Розглянемо переміщення за один крок двигуна:

$$X1 = \frac{p \gamma}{360^\circ},$$

де p - крок гвинта шарико-гвинтової передачі,

γ - кутовий крок,

$$X1 = \frac{5 \cdot 1,8^\circ}{360^\circ} = 0,025 \text{ мм}$$

Похибка позиціонування становить 5% від кроку і не

накопичується від кроку до кроку.

Переміщення з урахуванням похибки:

$$\Pi_{x1} = 0,025 \cdot 1,05 = 0,02625 \text{ мм}$$

Для другої осі переміщення аналогічне, так як двигуни і ШВП однакові.

$$X_2 = \frac{5 \cdot 1,8^\circ}{360^\circ} = 0,025 \text{ мм}$$

$$\Pi_{x2} = 0,025 \cdot 1,05 = 0,02625 \text{ мм}$$

Сумарне переміщення (по двох осях):

$$\Pi = \sqrt{(\Pi_{x1})^2 + (\Pi_{x2})^2}$$

$$\Pi = \sqrt{(0,02625)^2 + (0,02625)^2} = 0,037 \text{ мм}$$

З розрахунку видно, що дискретності кроку крокової двигуна досить для забезпечення заданої точності.

ВИСНОВКИ

Висока техніко-економічна ефективність заходів щодо підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції забезпечуються насамперед впровадженням нових видів обладнання і технологічної оснастки.

У дипломній дисертації розроблений верстат для свердління друкованих плат, який дозволяє замінити процес ручного свердління, досягти підвищення точності і продуктивності.

Зроблено інформаційний огляд аналогічних пристроїв.

Розроблено схему технологічного процесу свердління плати, структурно-функціональна схема верстата, кінематична схема верстата, електрична схема верстата.

Розроблено елементи конструкції, і вибрані необхідні покупні вироби, необхідні для функціонування верстата.

Розроблена 3D модель верстату. Описана система керування верстату.

Зроблені розрахунки шарико-гвинтової пари, розрахунок похибки позиціонування свердлильної головки щодо плати та розрахунок продуктивності верстата.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам;
2. С. В. Павлюченко, А. Н. Попов, Н. Е. Пуленец, Ал. Н. Тимофеев. Схемы технологических машин. Правила выполнения и синтез кинематических, пневматических, гидравлических и электрических схем: учеб. Пособие – СПб. : Изд. Политехн. Ун-та, 2013 – 175 с.;
3. Волков А.Н., Тимофеев А.Н. Проектирование робототехнических систем: учеб. пособие / Волков А.Н. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012.- 370 с.;
4. Анухин В.И. Допуски и посадки – 3-е изд., испр. – СПб.: Питер, 2005. – 207с.;
5. С. В. Павлюченко, А. Н. Попов, Н. Е. Пуленец, Ал. Н. Тимофеев. Датчики технологических машин. учеб. Пособие – СПб. : Изд. Политехн. Ун- та, 2013 – 165с.;
6. Тимофеев А.Н. Электропривод и автоматика. Проектирование механизмов приводов технологических машин и оборудования: учеб. пособие / – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.-140 с.
7. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. / М.: Изд-во «Машиностроение», 1980;
8. Серебrenицкий П. П. Краткий справочник станочника. Л.: Лениздат, 1982. — 360 с.
9. <http://www.ric-stanko.ru>
10. <http://www.servotechnica.spb.ru>
11. <http://electroprivod.ru>

12. <http://www.aviton.spb.ru>
13. <http://darxton.ru>
14. <http://www.npoatom.ru>
15. <http://www.tracepartsonline.net>
16. <http://www.detalmach.ru>
17. <https://studbooks.net>
18. <http://teacode.com/online/udc/>
19. <http://online.budstandart.com/ua/catalog/>
20. <http://vseochpu.ru/>
21. <https://unitech.com.ua>
22. <https://www.sandvik.coromant.com>

ДОДАТКИ

| Справ. № | | Пер. прим. | | A02PJ.321000.000 | | Формат | Зона | Поз. | Позначення | Найменування | Кіл. | Прим. |
|----------|--|------------|--|------------------|--|--------|------|------|--------------------------|--|------|-------|
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Документація | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | A1 | | | | Вступний плакат | 1 | |
| | | | | | | A1 | | | | Ілюстрований словник | 1 | |
| | | | | | | A1 | | | | Результати патентно-інформаційних досліджень | 1 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | A1 | | | МВ-8116.мп.МД.221.000 КС | Кінематична схема | 1 | |
| | | | | | | A1 | | | МВ-8116.мп.МД.231.000 ЕП | Електрична схема | 1 | |
| | | | | | | A1 | | | МВ-8116.мп.МД.211.000 | Схема обробки плати | 1 | |
| | | | | | | A1 | | | МВ-8116.мп.МД.252.000 | Деталювання | 1 | |
| | | | | | | A1 | | | МВ-8116.мп.МД.256.000 ЗВ | Загальний вид | 1 | |
| | | | | | | A1 | | | | Розрахунковий плакат | 1 | |
| | | | | | | A1 | | | МВ-8116.мп.МД.251.000 СК | Складальний кресленик | 1 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

| Формат | Зона | Поз. | Обозначение | Наименование | Кол. | Примечание |
|--------|------|------|-------------|------------------------------------|------|------------|
| | | 64 | | Кронштейн движуща осі X | 1 | |
| | | 65 | | Муфта розрізна | 3 | |
| | | 66 | | З'єднувальна пластина під стіл | 1 | |
| | | 67 | | Борт портала | 2 | |
| | | 68 | | Опора направляючої | 8 | |
| | | | | типу SHF | | |
| | | 69 | | Циліндрична направляюча 320 мм D10 | 2 | |
| | | 70 | | Пластина під стіл | 2 | |
| | | 71 | | База каретки | 1 | |
| | | 72 | | Верхній кронштейн движуща осі Z | 1 | |
| | | 73 | | Кронштейн движуща осі Y | 1 | |
| | | 74 | | Нижній кронштейн каретки | 1 | |
| | | 75 | | Пластина під двигун | 1 | |
| | | 76 | | Циліндрична направляюча 148 мм D10 | 2 | |
| | | 77 | | Кронштейн під двигун | 1 | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | Стандартные изделия | | |
| | | | | | | |
| | | 80 | | Болт М6-6dх12 ГОСТ 7798-70 | 1 | |
| | | | | Болт М6-6dх12 ГОСТ 7798-70 | 1 | |
| | | 81 | | Болт М6-6dх14 ГОСТ 7798-70 | 12 | |
| | | 82 | | Болт М6-6dх40 ГОСТ 7798-70 | 4 | |
| | | 83 | | Болт М6-6dх60 ГОСТ 7798-70 | 12 | |
| | | 84 | | Болт М8х1-6dх16 ГОСТ 7798-70 | 4 | |
| | | 85 | | Болт М8х1-6dх20 ГОСТ 7798-70 | 8 | |
| | | 86 | | Болт АМ6-6dх180 ГОСТ 7798-70 | 32 | |
| | | 87 | | Винт М4-6dх16 ГОСТ 11738-84 | 4 | |
| | | 88 | | Винт М4-6dх20 ГОСТ 11738-84 | | |
| | | 89 | | Винт М4-6dх8 ГОСТ 11738-84 | 18 | |
| | | 90 | | Винт М4 х 1-6dх14. ГОСТ 11738-84 | 4 | |

| | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|--|--|--|--|------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | МВ-8116.мп.МД.251.000 | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 2 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | | | | | |

| Формат | Зона | Поз. | Обозначение | Наименование | Кол. | Примечание |
|--------|------|------|-------------|---|------|------------|
| | | 91 | | Винт М4-6dх16 ГОСТ 11738-84 | 14 | |
| | | 92 | | Винт М4-6dх20 ГОСТ 11738-84 | 29 | |
| | | 93 | | Винт М5-6dх35 ГОСТ 11738-84 | 4 | |
| | | 94 | | Винт М5-6dх35 ГОСТ 11738-84 | 5 | |
| | | 95 | | Винт М5-6dх45 ГОСТ 11738-84 | 4 | |
| | | 96 | | Винт М6-6dх25 ГОСТ 11738-84 | 4 | |
| | | 97 | | Винт А2М6 х 1,25-6dх12 -0... ГОСТ 11738-84 | 4 | |
| | | 98 | | Гайка М4-6Н ГОСТ 5915-70 | 8 | |
| | | 99 | | Гайка М5-6Н ГОСТ 5915-70 | 8 | |
| | | 100 | | Гайка А 2 М6 х 1Н-6Нх22 -0,58.С.40Х019 ГОСТ 5915-70 | 36 | |
| | | 101 | | Кольцо В10.50 ХГА ГОСТ 13942-86 | 3 | |
| | | 102 | | Шайба 4 ГОСТ 6402-70 | 8 | |
| | | 103 | | Шайба 4/1 ГОСТ 6402-70 | 16 | |
| | | 104 | | Шайба 2 5/1 ГОСТ 6402-70 | 4 | |
| | | 105 | | Шайба 5 ГОСТ 6402-70 | 8 | |
| | | 106 | | Шайба 6 ГОСТ 6402-70 | 50 | |
| | | 107 | | Шайба 28 х 1,25х0... ГОСТ 6402-70 | 28 | |
| | | 108 | | Гайка для профільних пазів М6 DIN 508 | 28 | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | Прочие изделия | | |
| | | | | | | |
| | | 111 | | Електродвигун колекторний ДПМ-35-Н1-01 | 1 | |
| | | 112 | | Енкодер ES3-02LG6541 | 3 | |
| | | 113 | | Кінцевий вимикач | 5 | |
| | | 114 | | Кроковий двигун FL39 | 3 | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | </ | | | | |

Тема: Спеціальний верстат з числовим програмним керуванням вертикального компонування

Мета:

Створити спеціальний свердлильно-фрезерно-гравірувальний верстат з ЧПК порталного типу з вертикально розміщеним шпиндельним вузлом для свердління отворів і контурної обробки деталей типу друкованих плат із неметалевих композитних матеріалів в умовах дрібносерійного, одиничного виробництва та індивідуального використання.

Об'єкт:

Спеціальний верстат порталного типу з ЧПК з вертикальним розміщенням шпинделя.

Предмет:

Патентна ситуація щодо верстату, оптимальна конструкція верстату, будова електричної схеми верстату та параметри надійності та функціональності механічної складової верстату.

Задачі:

- патентно-інформаційні дослідження стосовно верстату;
- аналіз стандартів, необхідних для розробки і експлуатації верстату;
- аналіз процесу обробки деталей типу друкованих плат і місця в ньому свердлильно-фрезерних операцій;
- вибір різального інструменту;
- аналіз елементної бази для створення верстату;
- розробка та оптимізація механічної частини верстату;
- розробка електричної частини верстату;
- перевірка вузлів та деталей верстату на надійність та функціональність.

Ілюстрований англо-український словник
для цілей патентного пошуку



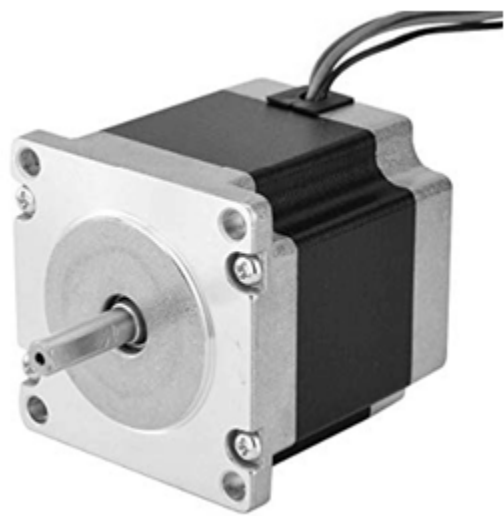
Milling machine – фрезерний верстат



drilling machine – свердильний верстат



carriage – каретка



stepper motor – кроковий двигун



Ball screw – КГП



gantry machine – портальний верстат



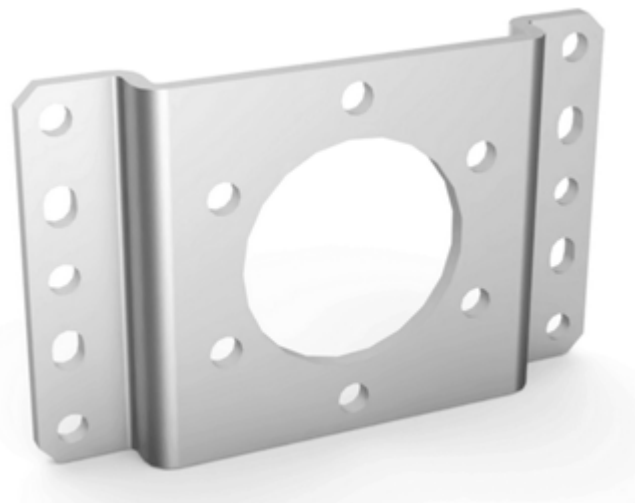
printed circuit board – друкована плата



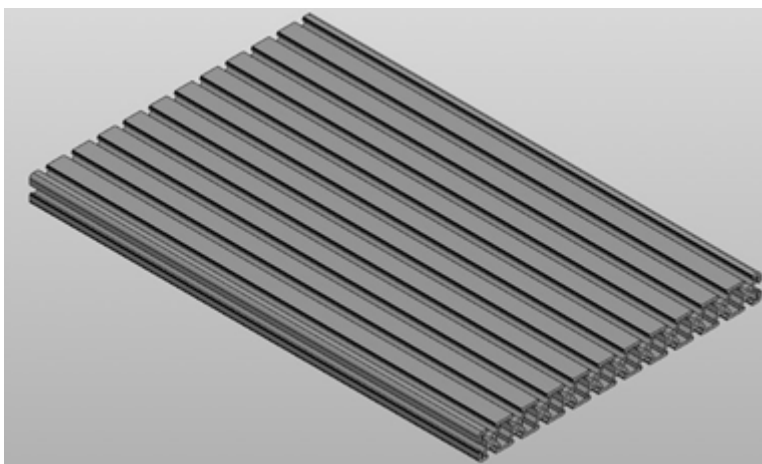
collet – цанга



coupling – муфта



bracket – кронштейн

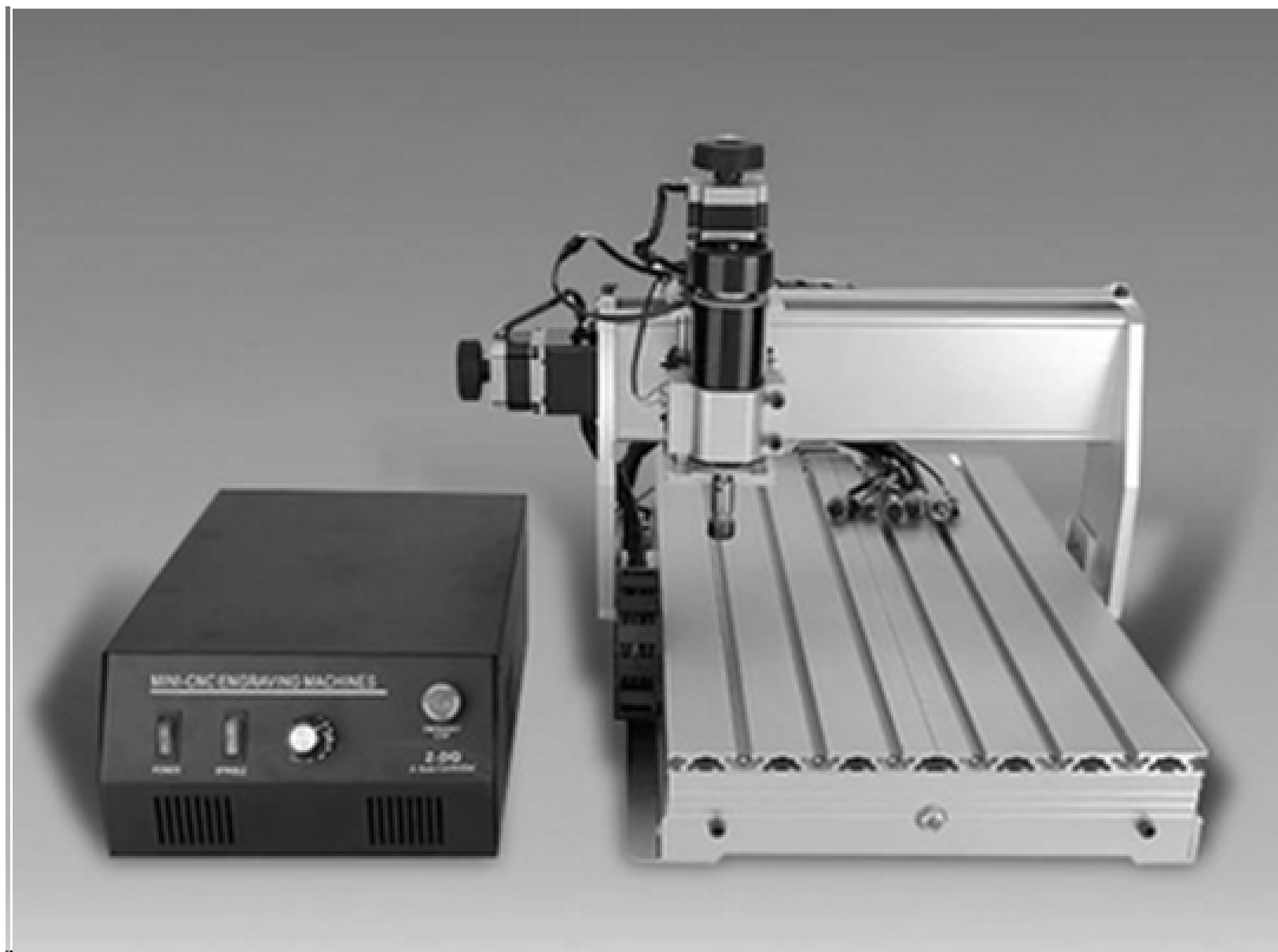


profile plate – профільна плита

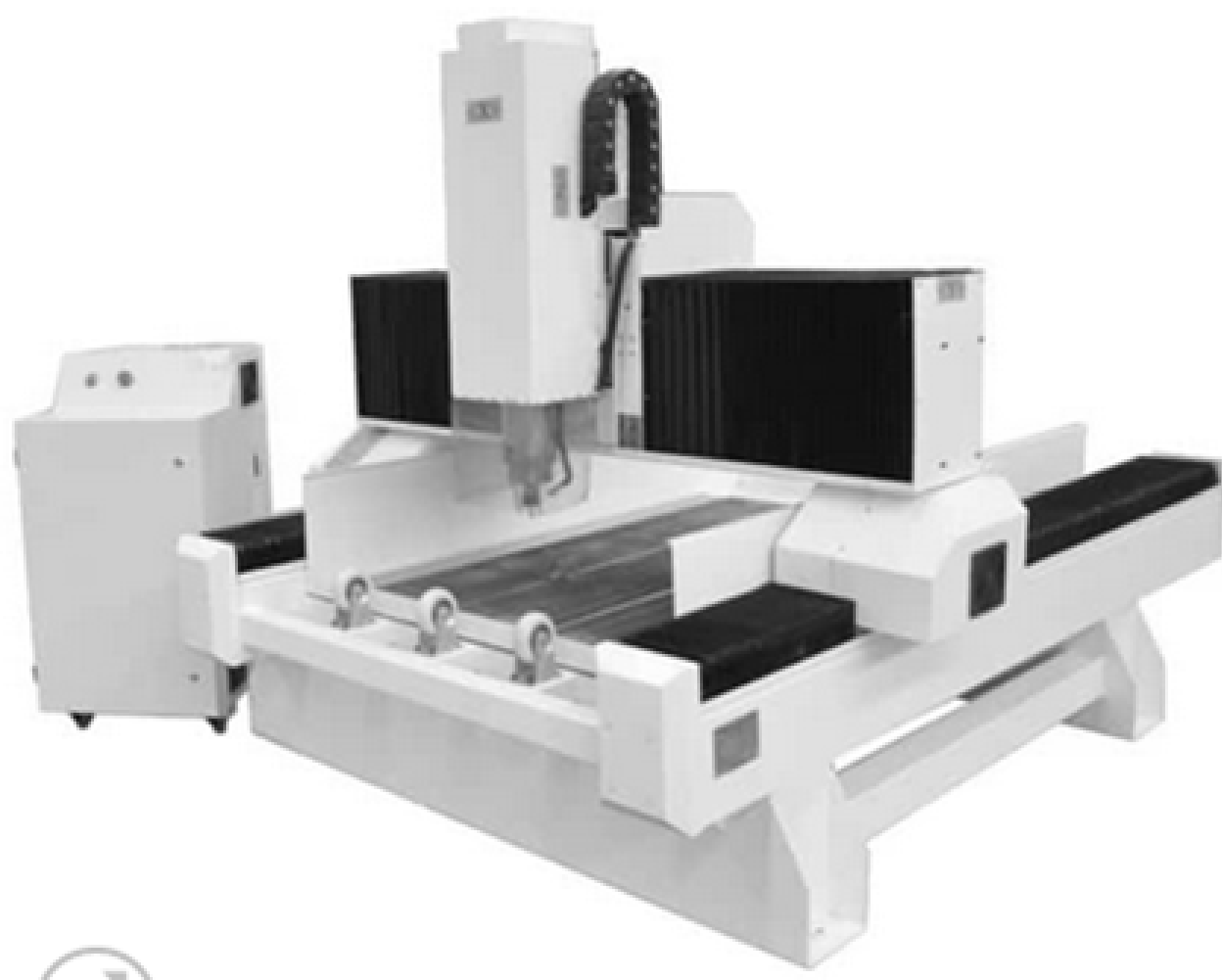


CNC – ЧПК

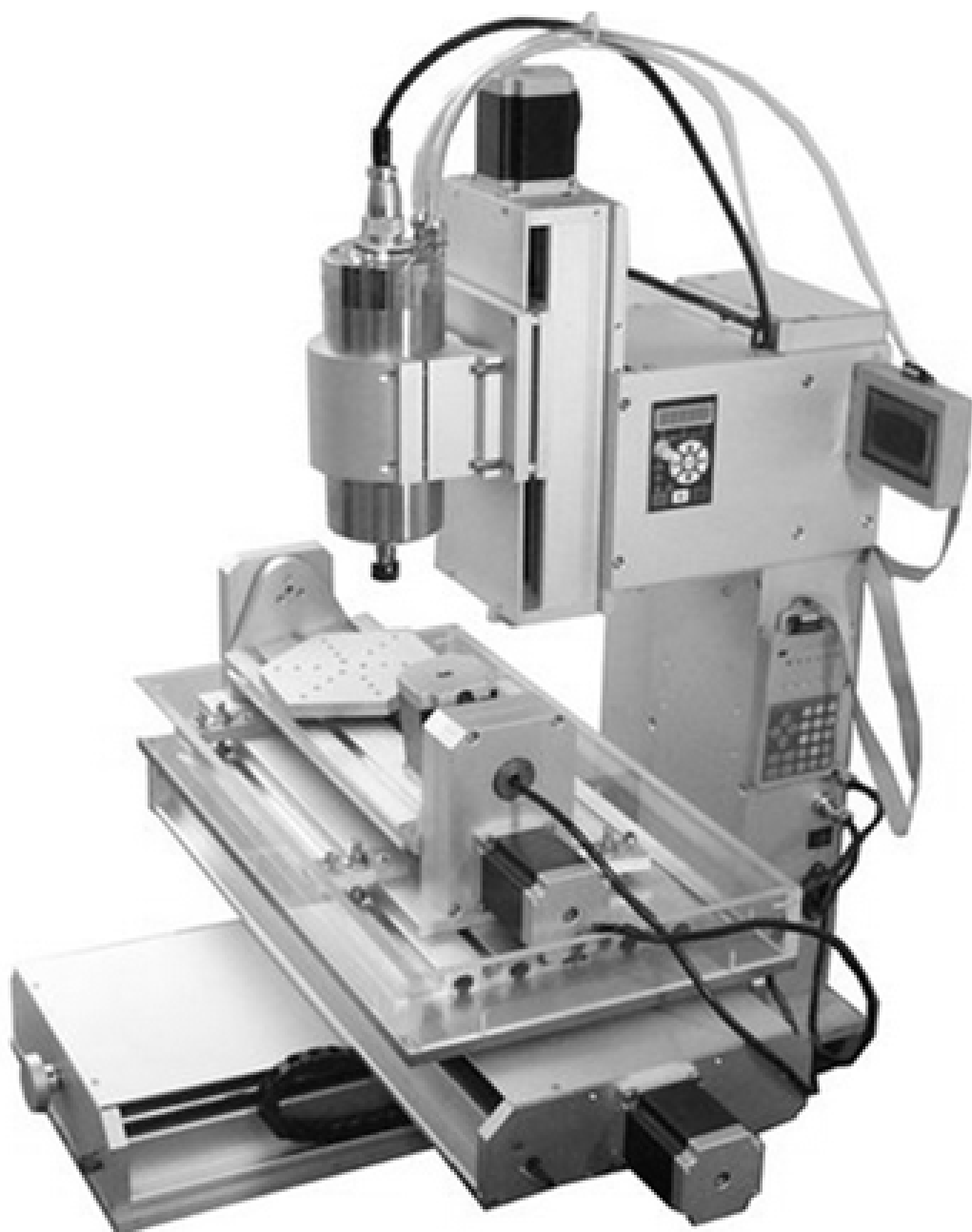
Результати інформаційно-патентних досліджень



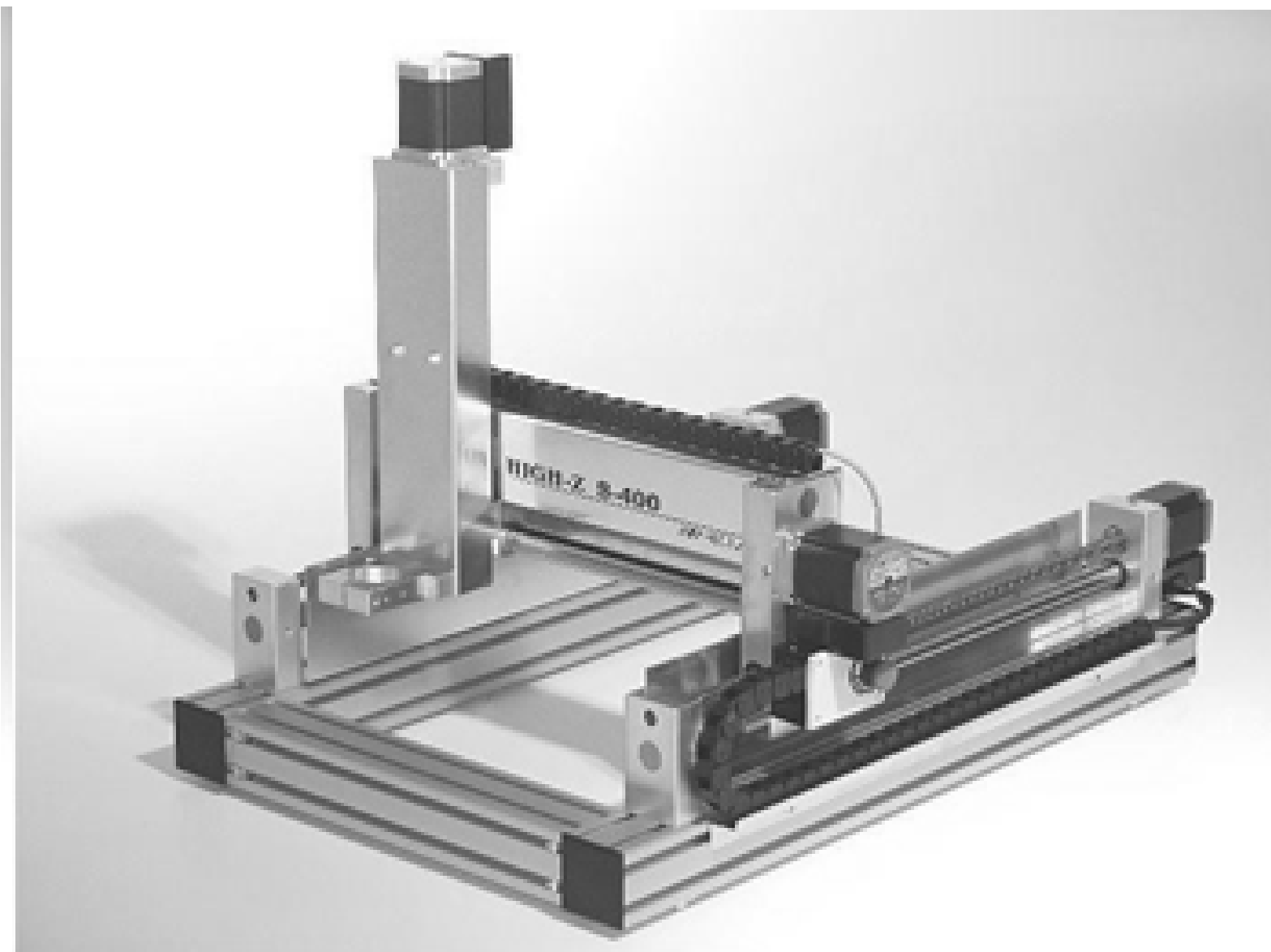
Ювелірний чотирьохкоординатний верстат



Гравірувально-фрезерний верстат з ЧПУ для каменю

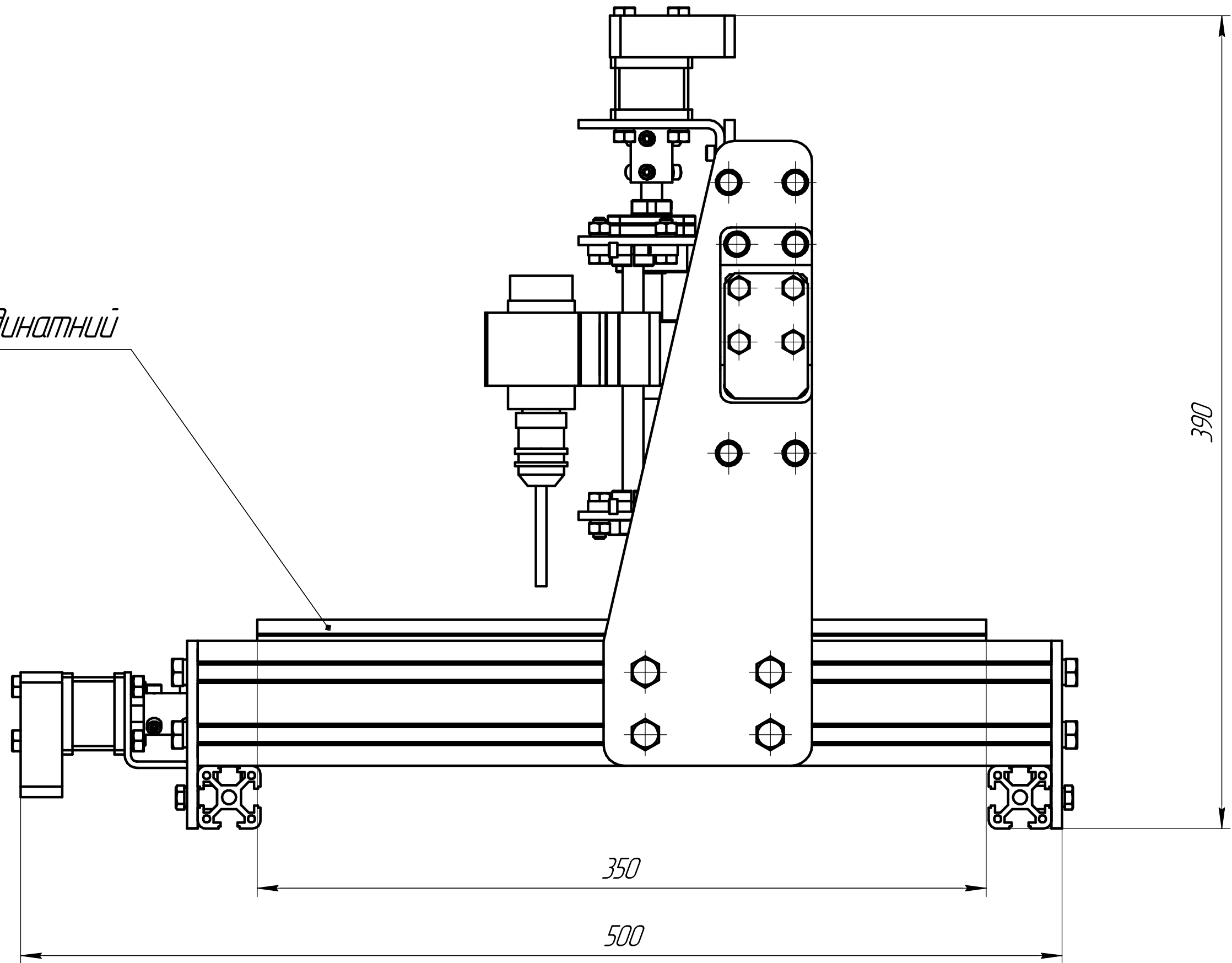


Настільний 5-осьовий верстат

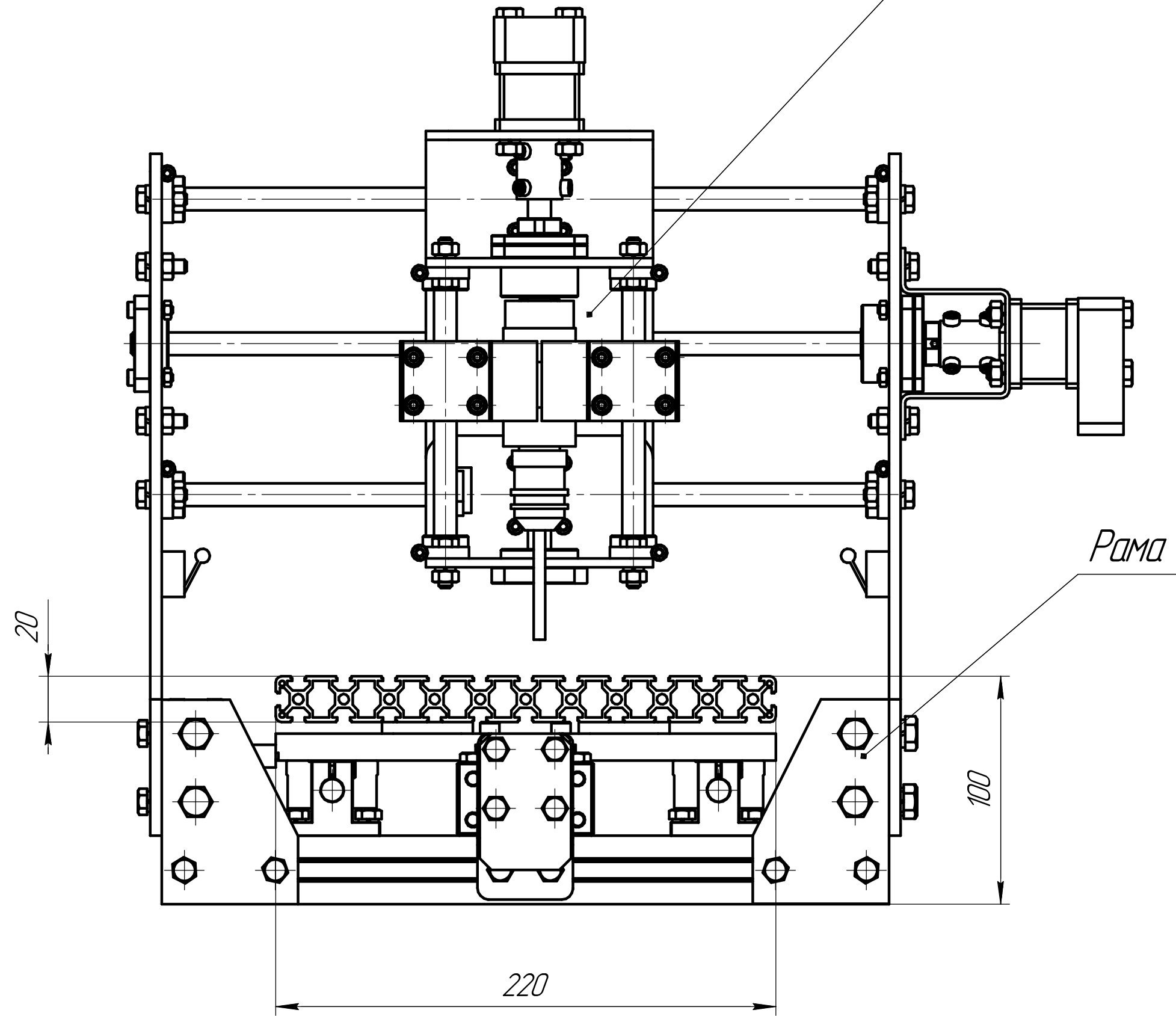


Гравірувально-фрезерний верстат HIGH-Z S-400

Стіл координатний



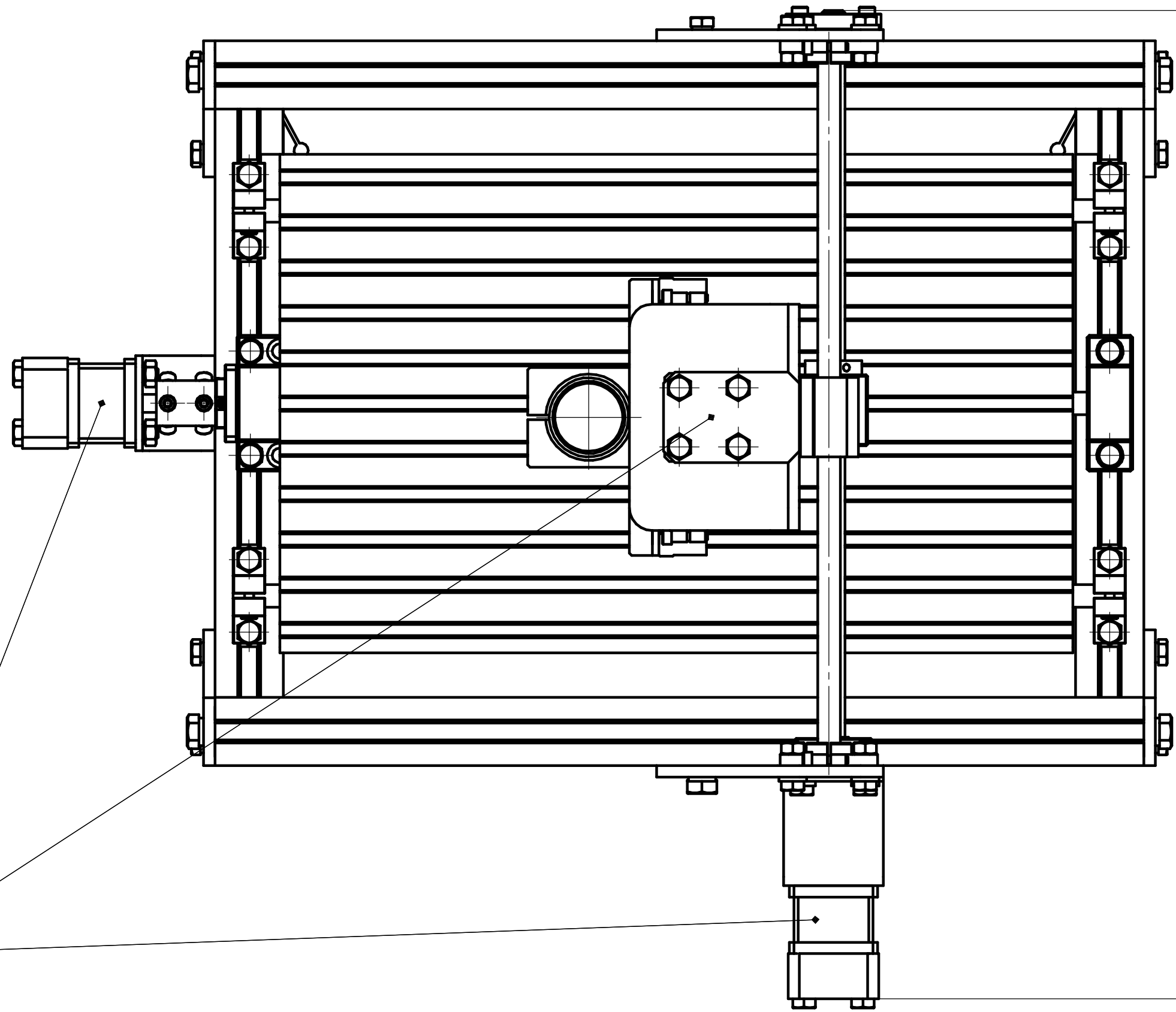
Каретка двигуна



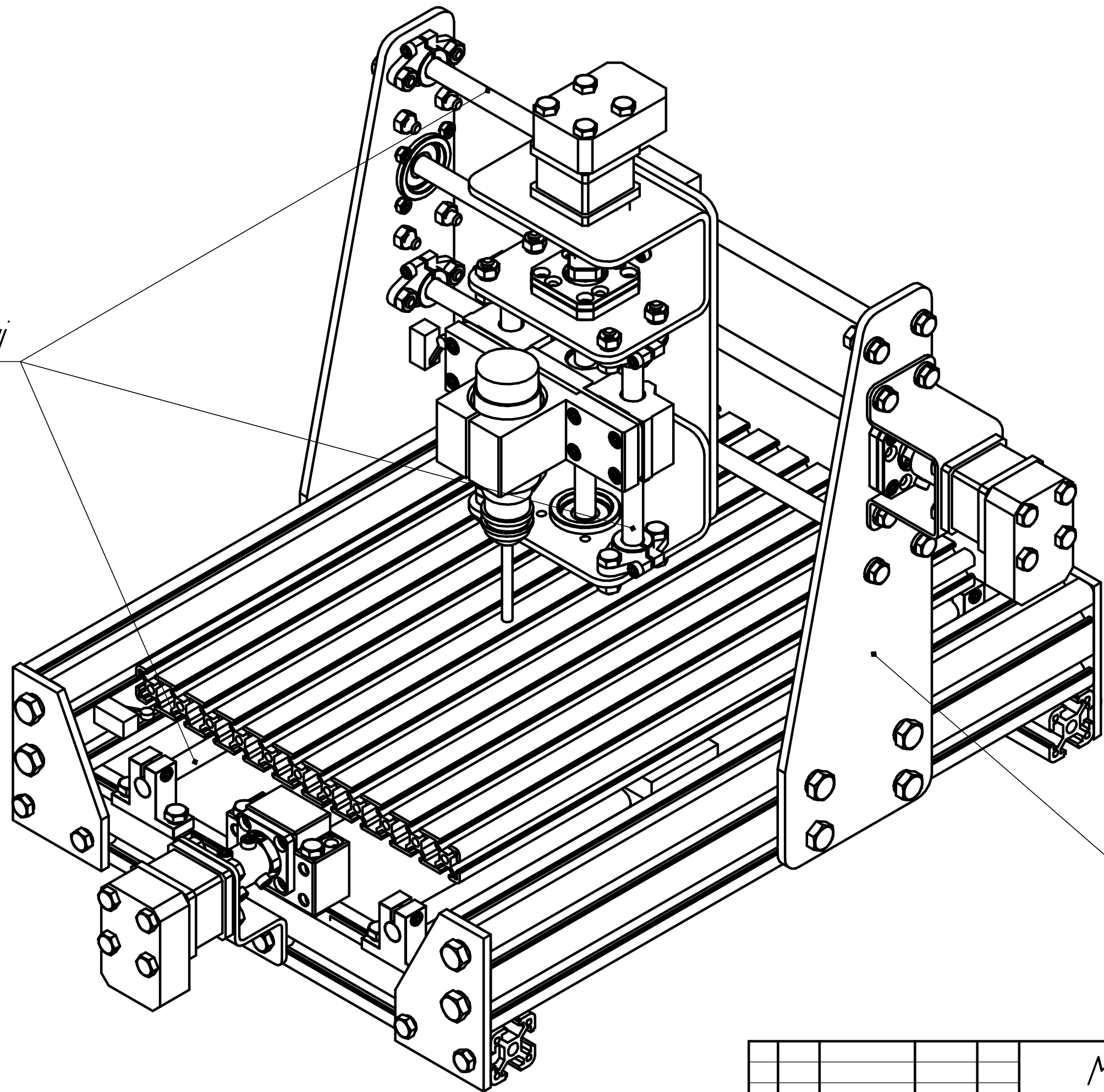
Рама

437

Приводи

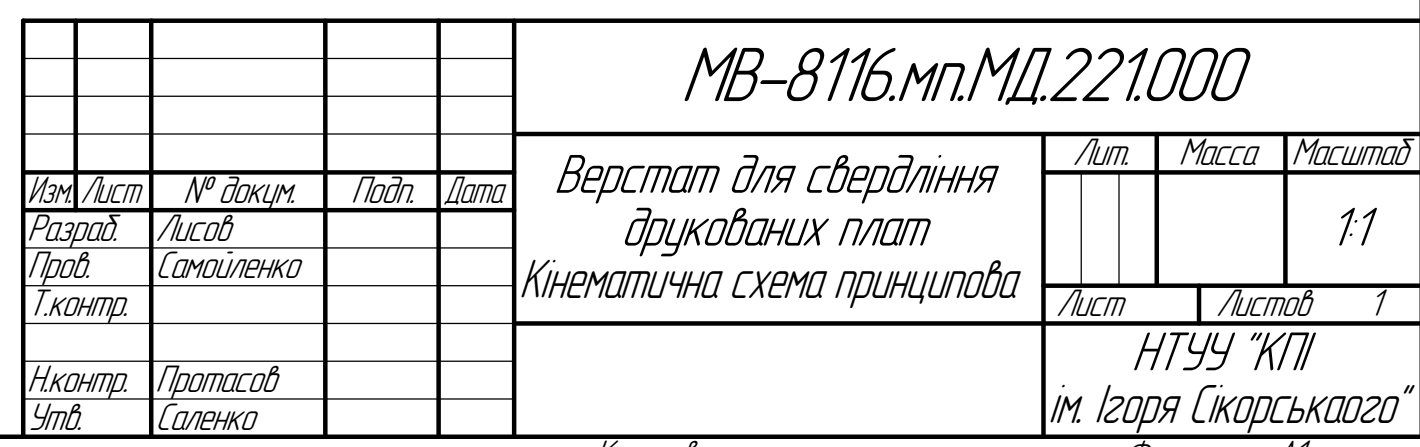


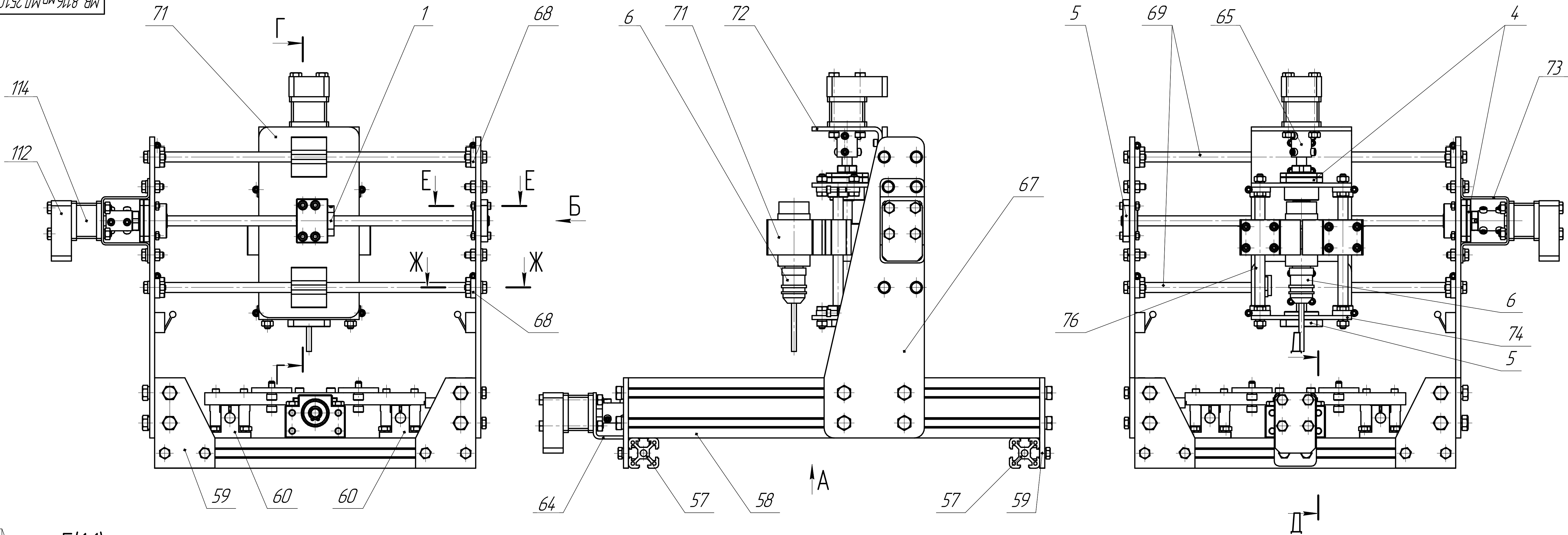
Напрямні



Портал

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------------|---------|------|------|--|--|--|--|--|--|------|--|--------|--|---------|--|
| | | | | | МВ-8116.мп.МД.256.000 ЗВ | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Верстат для свердління друкованих плат Загальний вигляд | | | | | | Лист | | Масса | | Масштаб | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 12 | |
| | | | | | | | | | | | Лист | | Листов | | 1 | |
| Мзм | Лист | № док-м | Підп | Дата | | | | | | | | | | | | |
| Разрад | Листов | | | | | | | | | | | | | | | |
| Пров. | Самойленко | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т.контр. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Н.контр. | Протасов | | | | | | | | | | | | | | | |
| Утв. | Саленко | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |





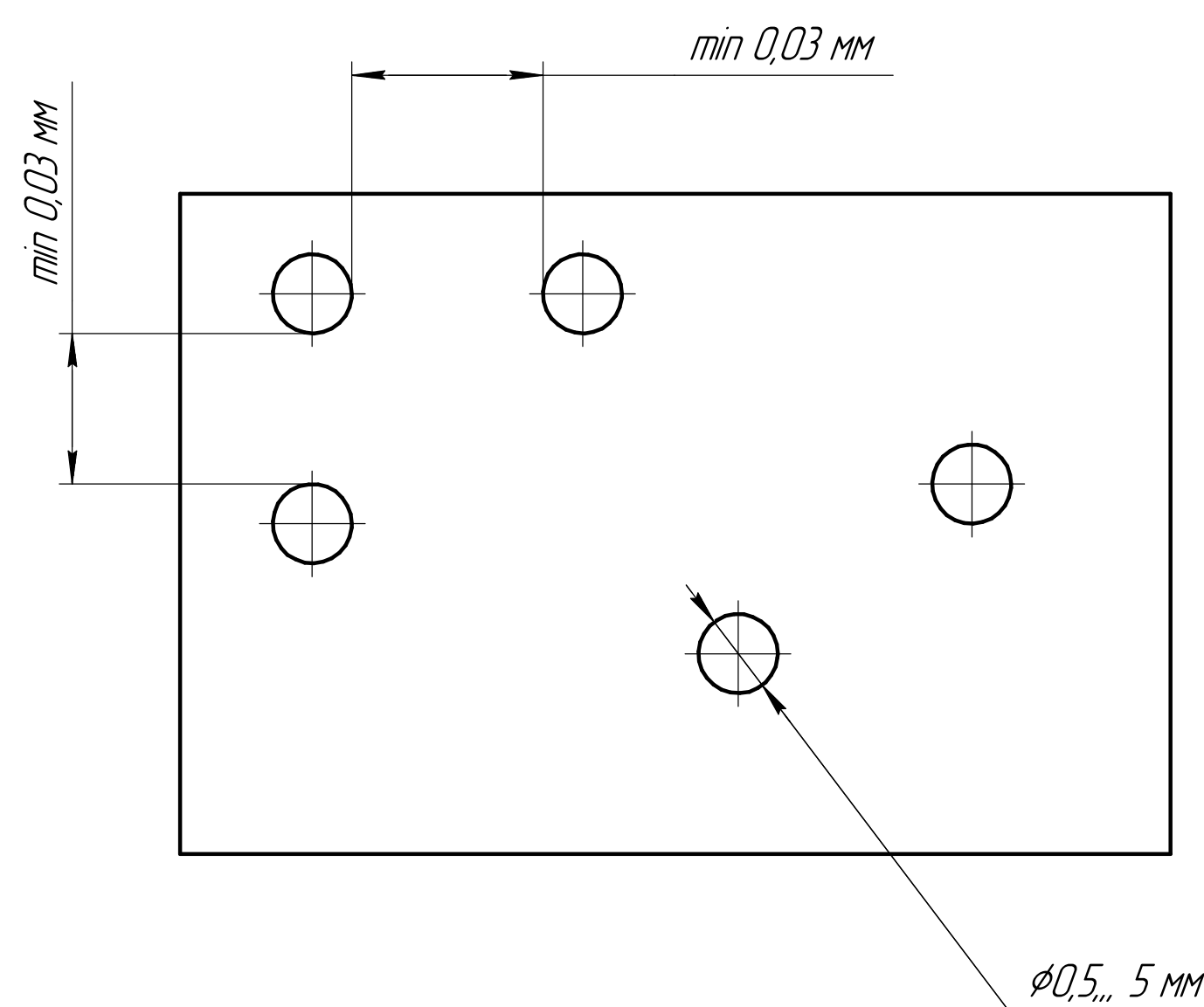
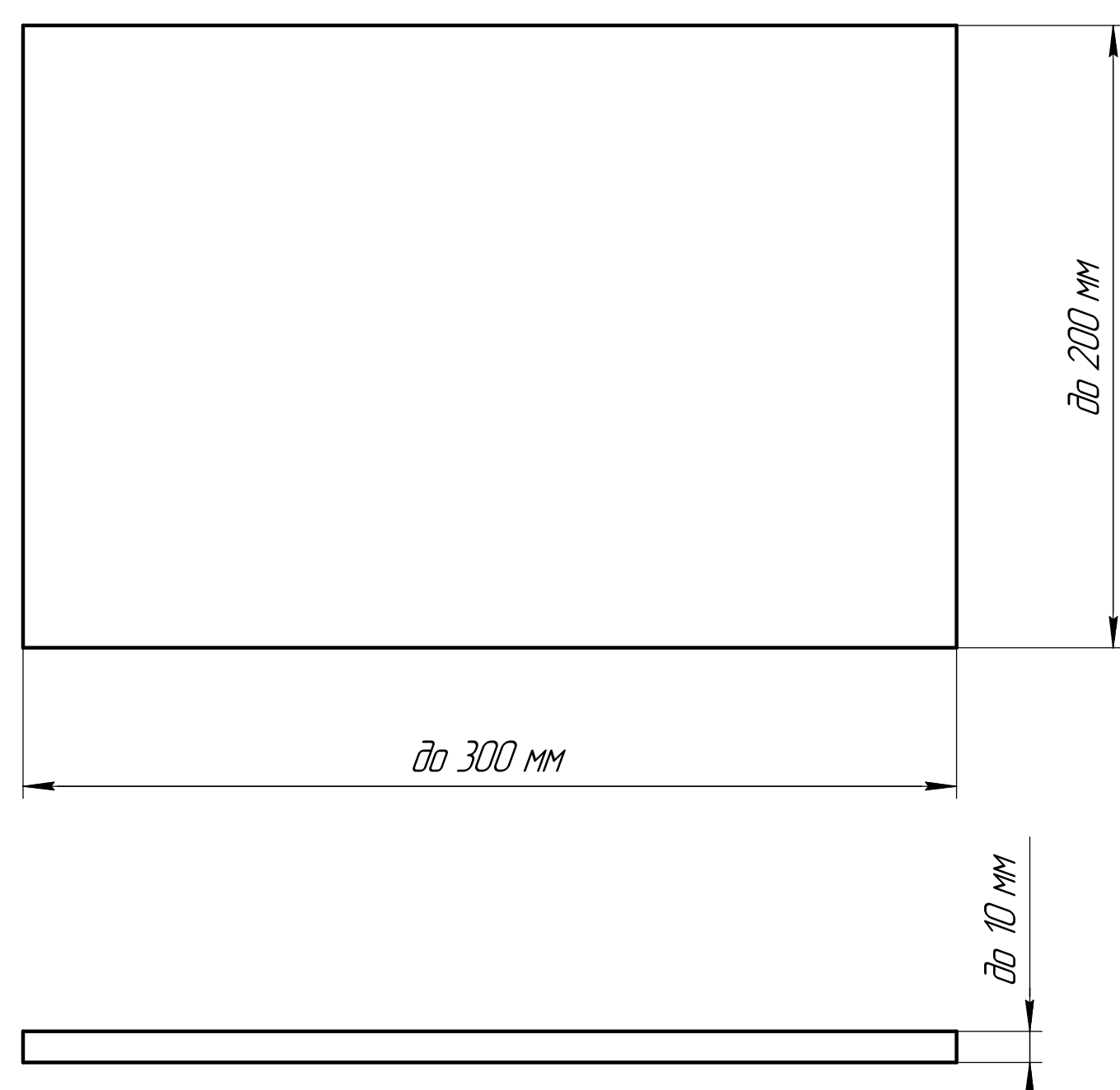
Д-Д(1:1)

Позиція 7, стіл профільний, умовно не показана

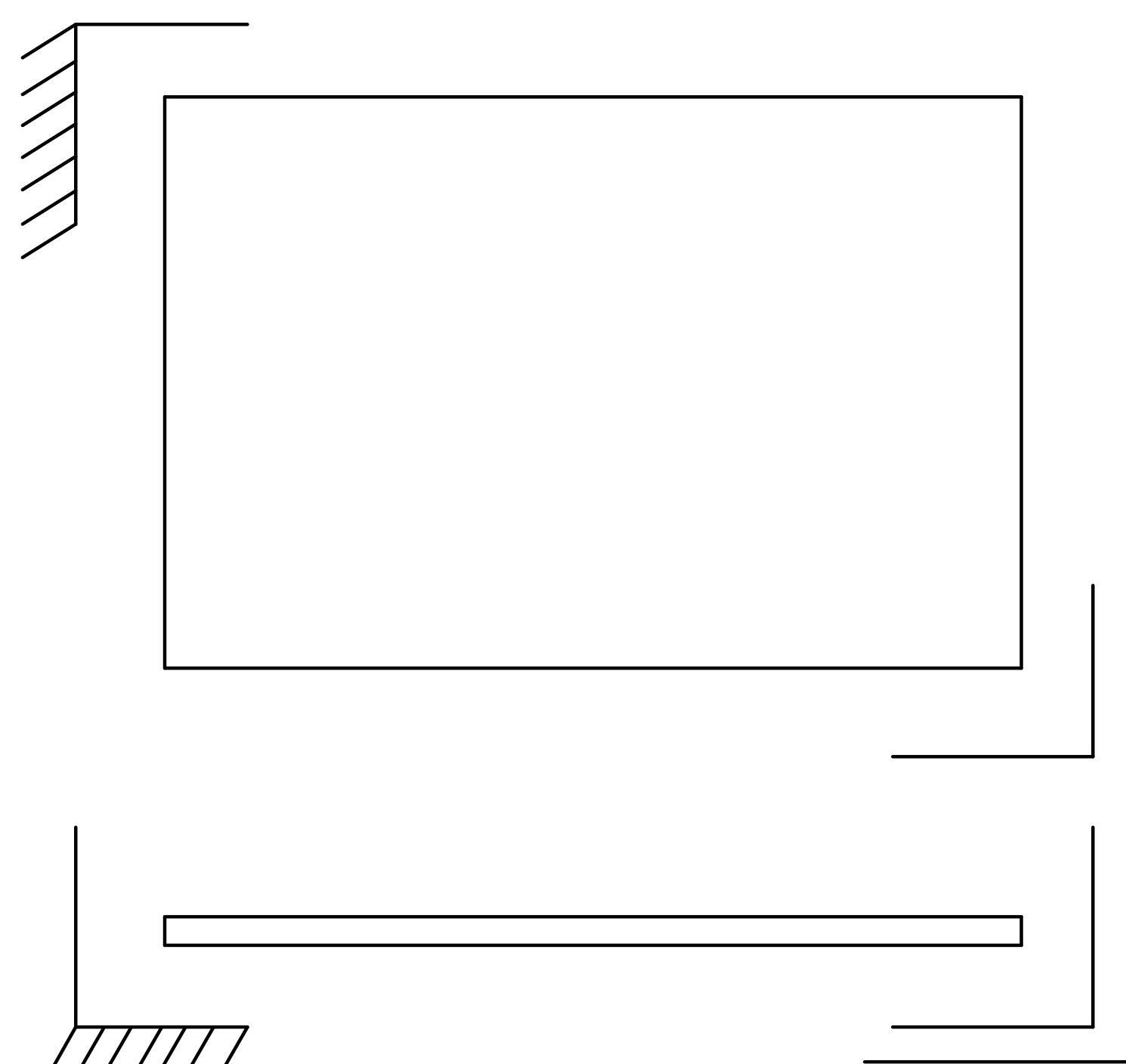
| | | | | | | |
|--|--|--|--|-----------------------|--------|---------|
| МВ-8116.мп.МД.251000 СК | | | | Лист | Масса | Масштаб |
| Верстат для свердління друкованих плат | | | | | 26,46 | 1:2 |
| Складальне креслення | | | | Лист | Листов | 1 |
| НТУУ "КПІ" | | | | ім. Ігоря Сікорського | | |
| Формат А1 | | | | | | |

Схема технологічного процесу свердління плати

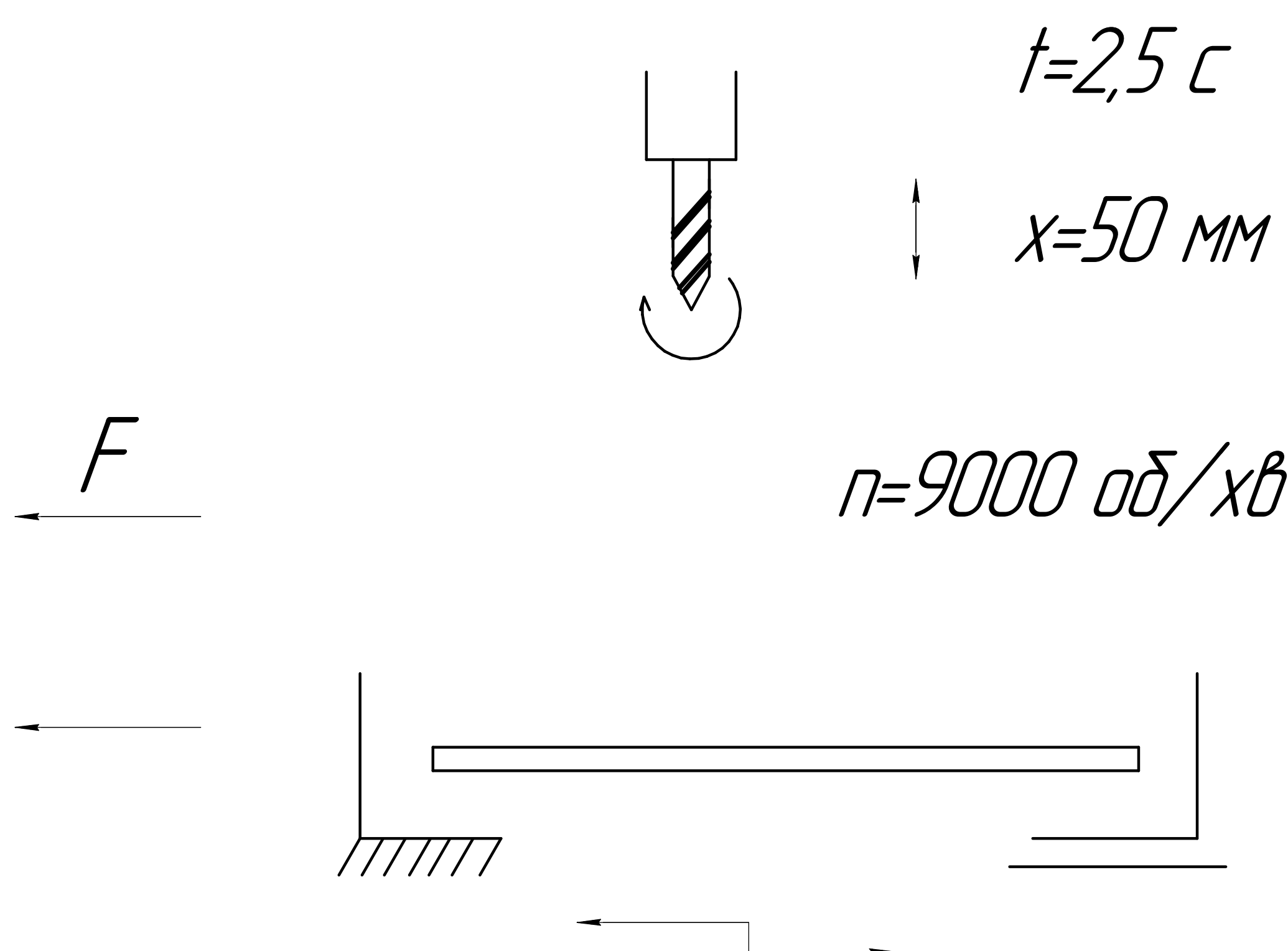
Вихідна плата



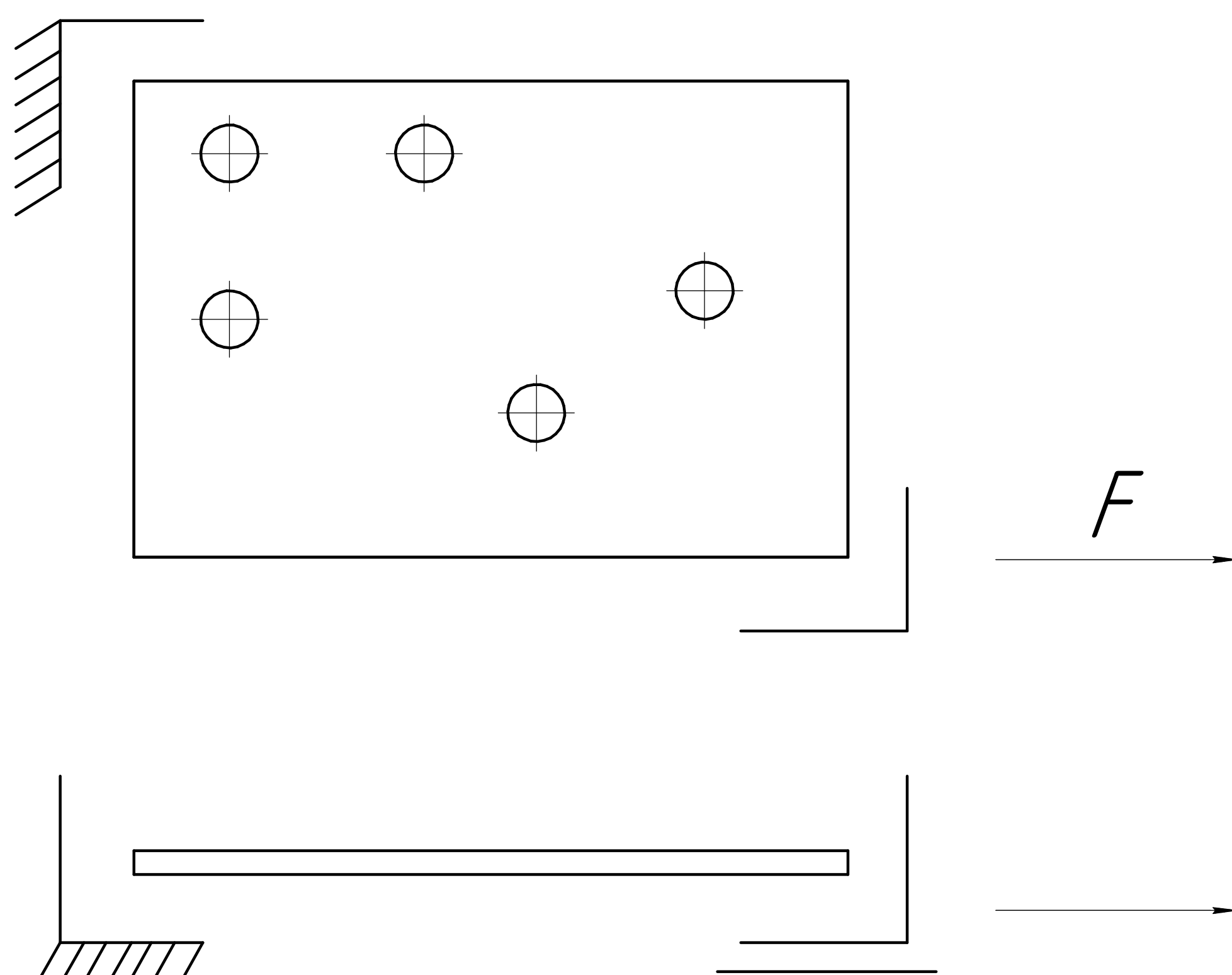
1. Установка плити на стіл



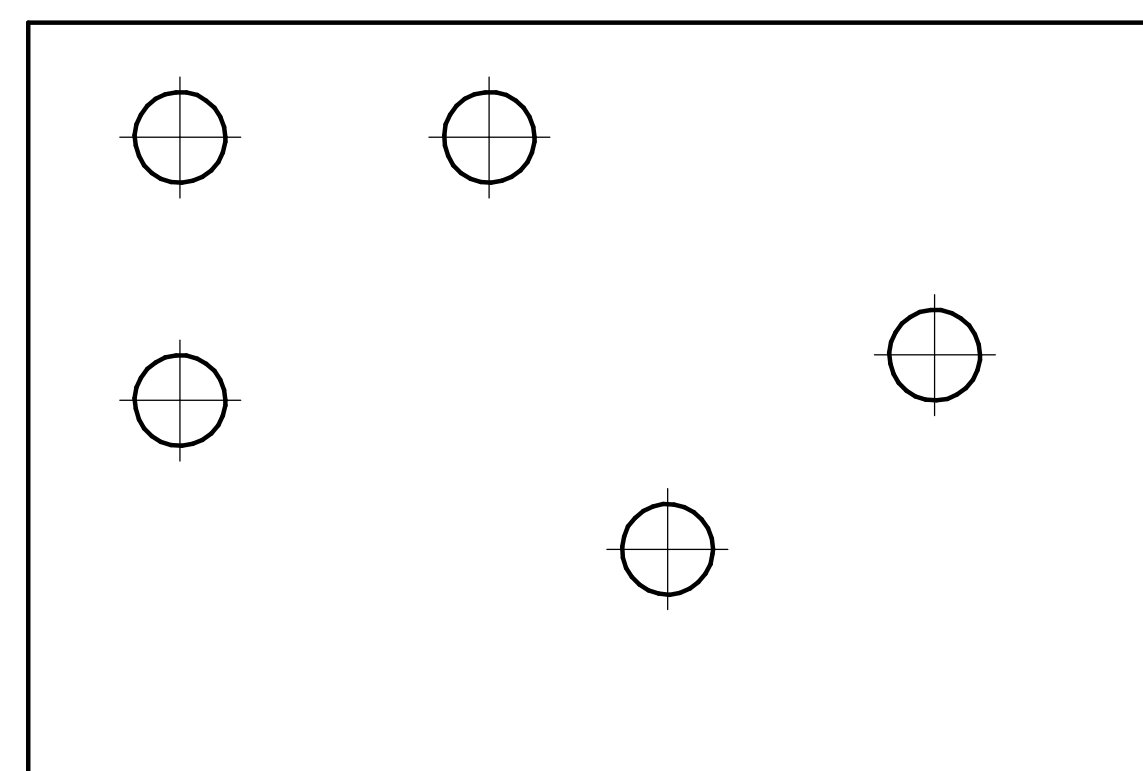
2. Свердління отворів



3. Видалення плати

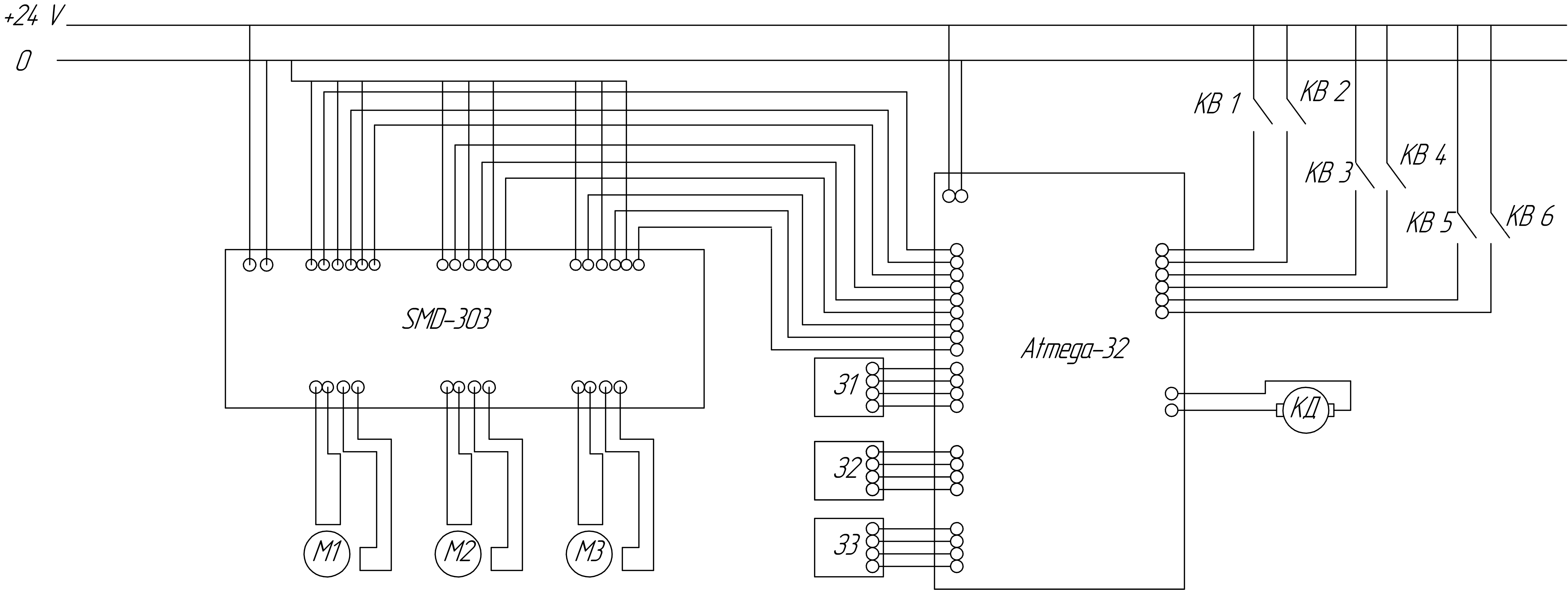


4. Плата з отворами

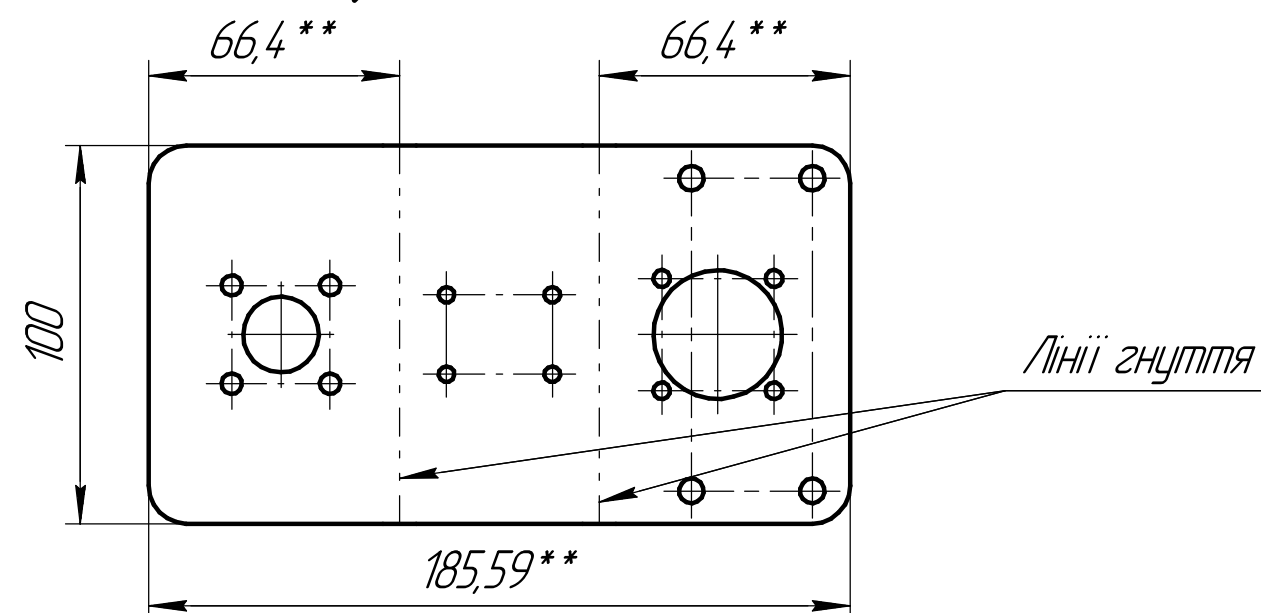
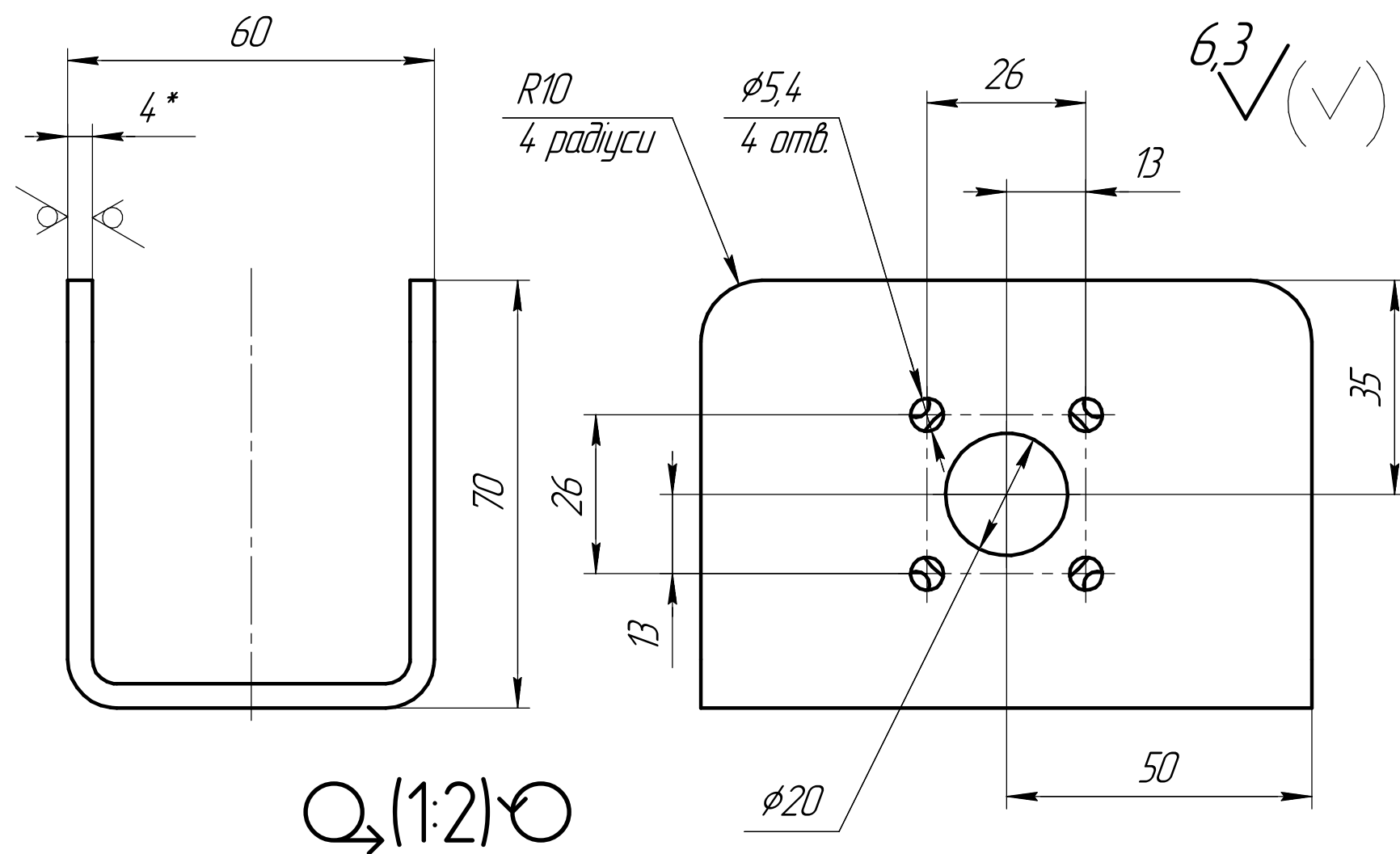
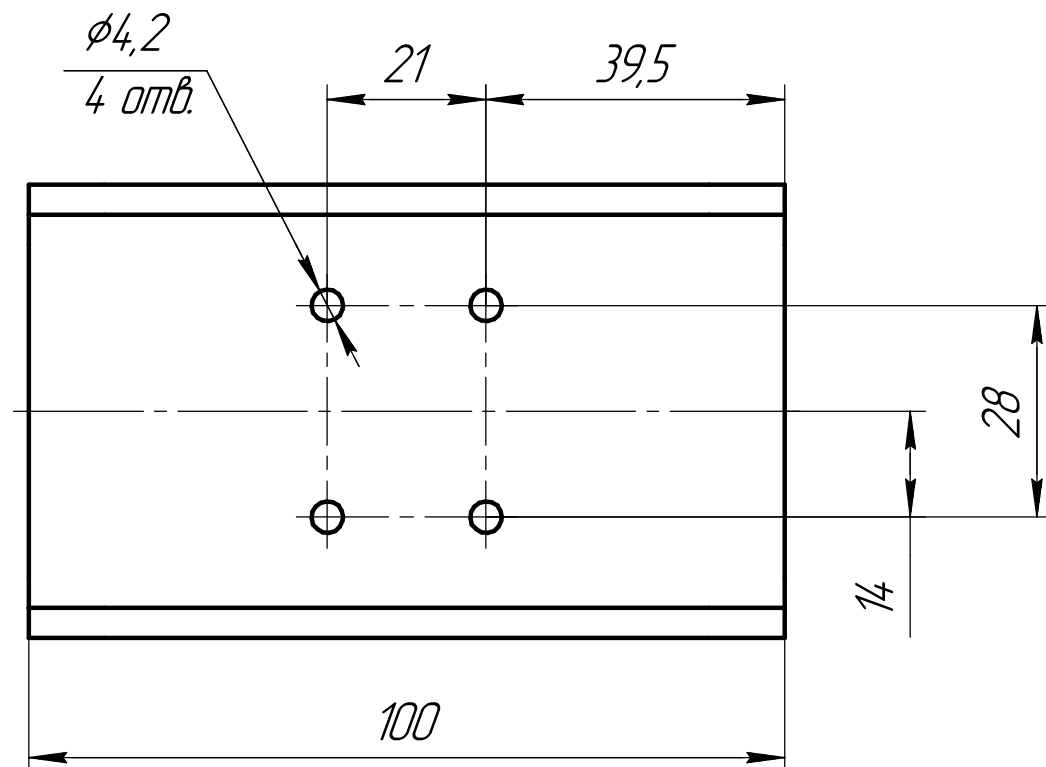
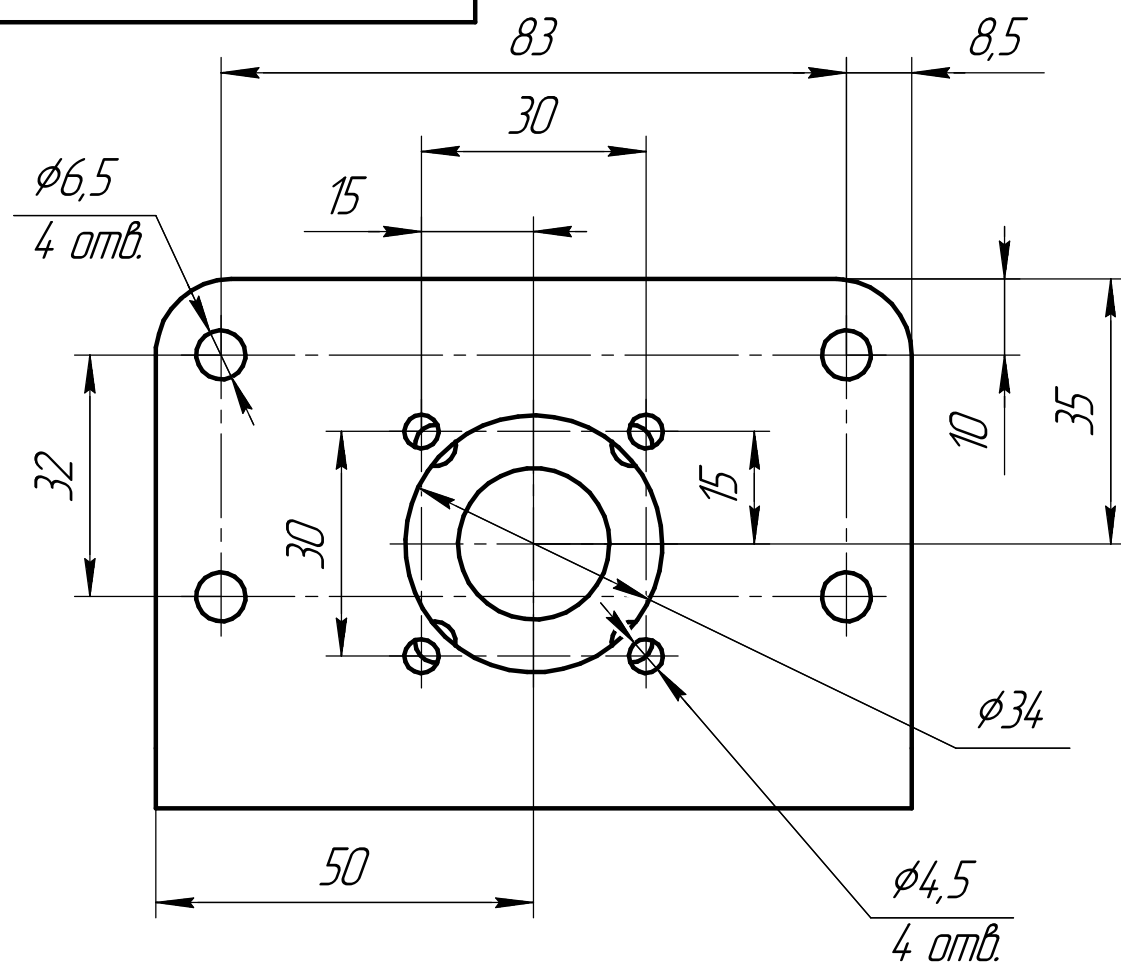


| | | | | |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Мад. № записи | Подп. и дата | Взам. инд. № | Мад. № записи | Подп. и дата |
| | | | | |

| | | | | | | | | |
|----------|------------|----------|-------|------|---|-------------------------------------|--------|---------|
| | | | | | | МВ-8116.мн.МД.211.000 | | |
| Изд. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Схема технологічного процесу свердління плати | Лист | Масса | Масштаб |
| Разраб. | Листов | | | | | | | 1:1 |
| Проб. | Самойленко | | | | | | | |
| Т.контр. | | | | | | Лист | Листов | 1 |
| Н.контр. | Протасов | | | | | НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" | | |



MB-816.Mn.M1.252.000

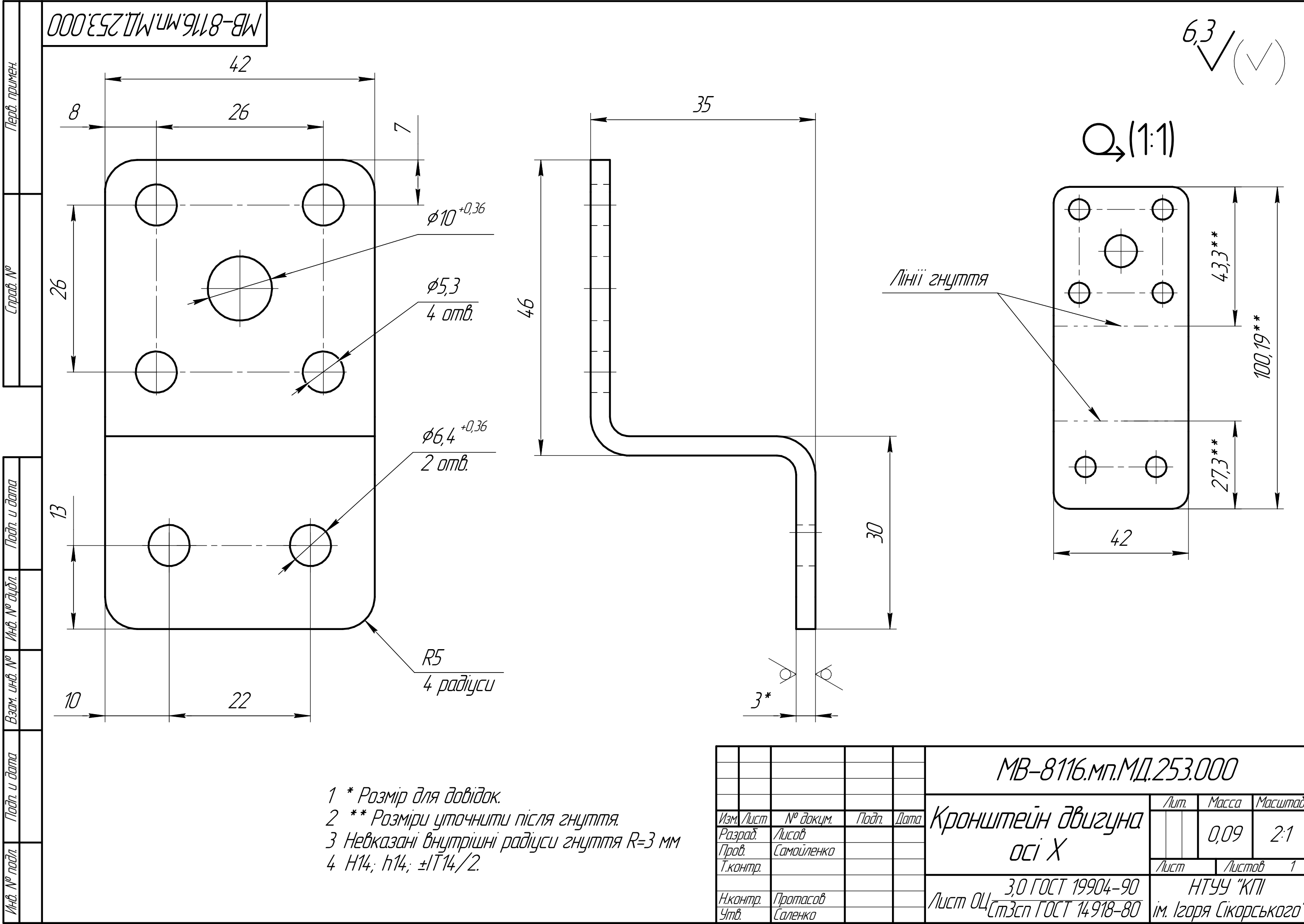


- 1 * Розмір для довідок.
- 2 ** Розміри уточнити після гнуття.
- 3 Невказані внутрішні радіуси гнуття $R=4$ мм
- 4 Н14; h14; $\pm IT14/2$.

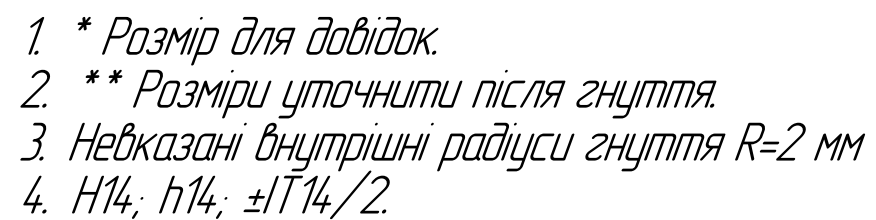
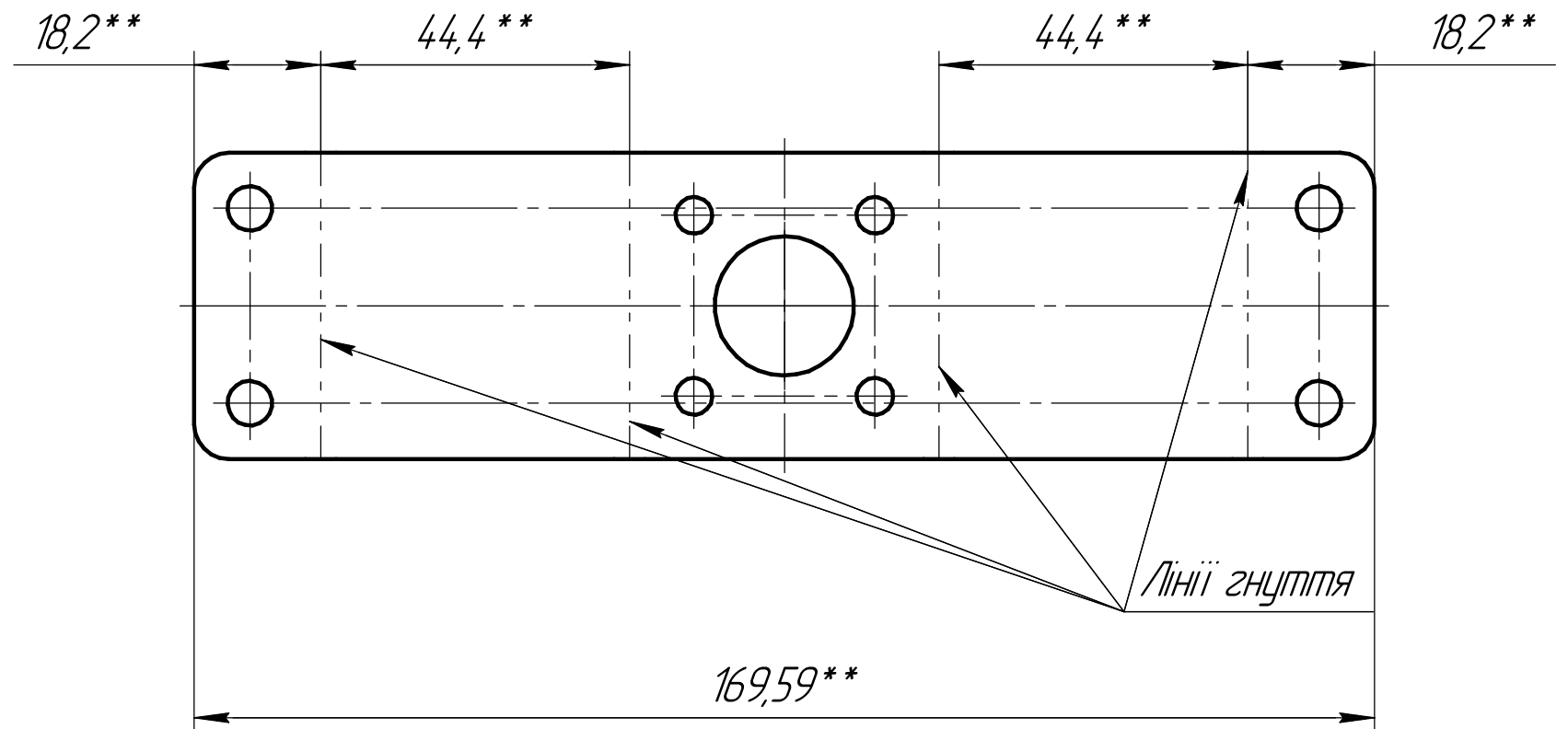
| | | | | | | | | |
|----------|------------|----------|-------|------|------------------------------------|-------------------------------------|--------|---------|
| | | | | | МВ-8116.мн.МД.252.000 | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Верхній кронштейн двигуна осі Z | Лист | Масса | Масштаб |
| Разраб. | Лисов | | | | | | 0,53 | 1:1 |
| Пров. | Самойленко | | | | | | | |
| Т.контр. | | | | | | Лист | Листов | 1 |
| Н.контр. | Протасов | | | | Лист 04 | НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" | | |
| Утв. | Саленко | | | | СтЗсп ГОСТ 14918-80 | | | |

Копировал

Формат А3



Формат А3

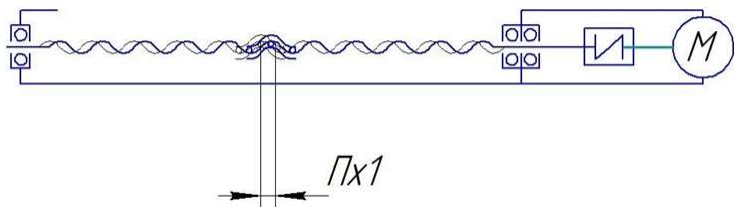


| | | | | | | | | | |
|----------|------------|----------|-------|------|--|----------------------------|-------------------------------------|--------|---------|
| | | | | | | МВ-8116.мп.МД.255.000 | | | |
| | | | | | | Кронштейн двигуна осі У | Лист | Масса | Масштаб |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | | | 0,11 | 1:1 |
| Разраб. | Лисов | | | | | | | | |
| Пров. | Самойленко | | | | | | | | |
| Т.контр. | | | | | | | Лист | Листов | 1 |
| | | | | | | | НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" | | |
| Н.контр. | Протасов | | | | | Лист 01 | СтЗсп ГОСТ 14918-80 | | |
| Утв. | Саленко | | | | | | Формат А3 | | |
| | | | | | | Копировав | | | |

Розрахунковий плакат

Розрахунок похибки позиціонування свердильної головки

Основну похибку позиціонування створює похибка крокового двигуна



Переміщення за один крок двигуна:

$$X1 = \frac{p \cdot \gamma}{360^\circ},$$

де p – крок гвинта шарико-гвинтової передачі, γ – кутовий крок

$$X1 = 0,025 \text{ мм}$$

Переміщення з урахуванням похибки:

$$\Pi x1 = 0,025 \cdot 1,05 = 0,02625 \text{ мм}$$

Для другої осі переміщення аналогічне, так як двигуни і ШВП однакові.

$$\Pi x2 = 0,02625 \text{ мм}$$

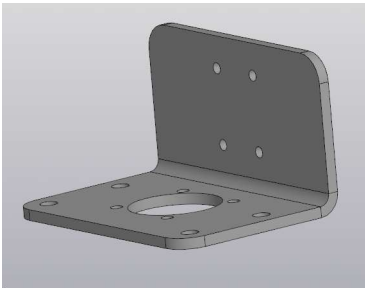
Сумарне переміщення (по двох осях):

$$\Pi = \sqrt{(\Pi x1)^2 + (\Pi x2)^2}$$
$$\Pi = \sqrt{(0,02625)^2 + (0,02625)^2} = 0,037 \text{ мм}$$

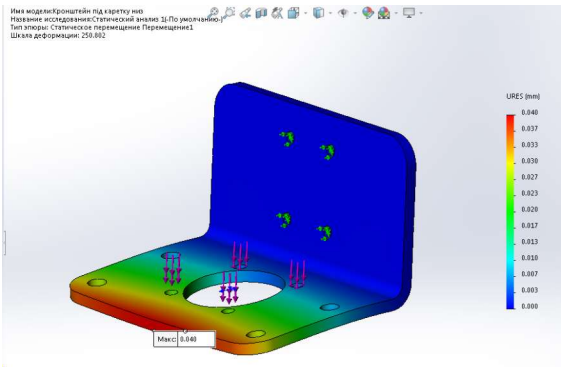
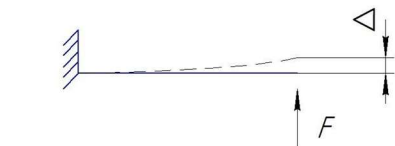
З розрахунку видно, що дискретності кроку крокового двигуна досить для забезпечення заданої точності.

Розрахунок переміщення вузлів верстата

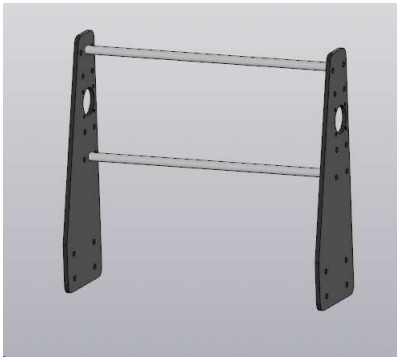
Розрахунок переміщення кронштейну



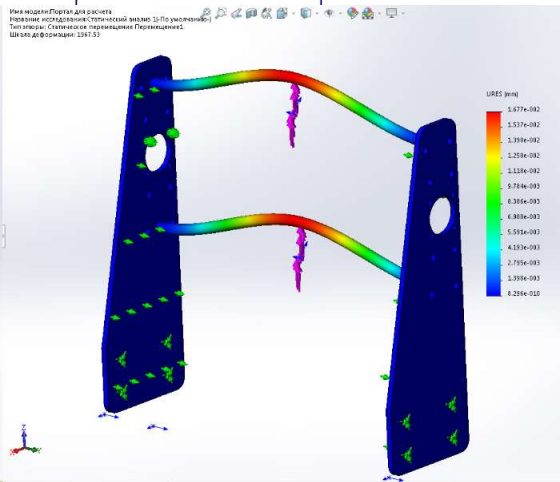
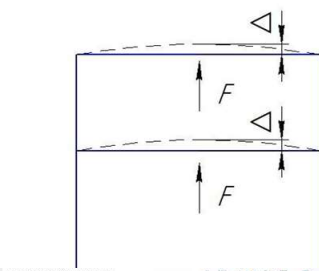
$$\Delta_{max} = 0,04 \text{ мм}$$



Розрахунок переміщення напрямних порталу



$$\Delta_{max} = 0,016 \text{ мм}$$



Не для коммерческого использования